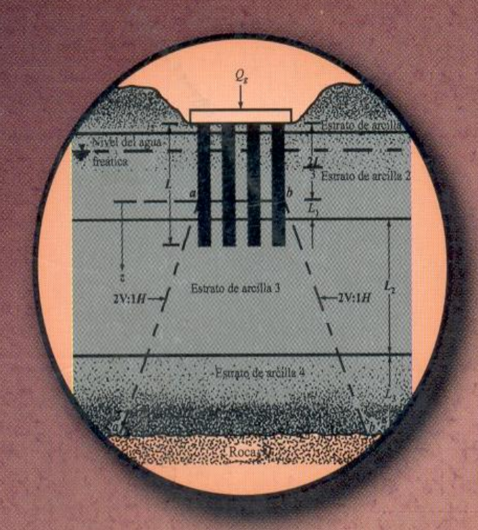
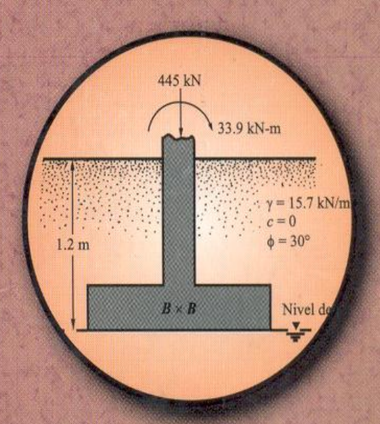
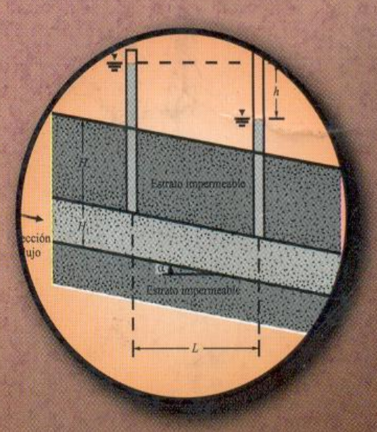
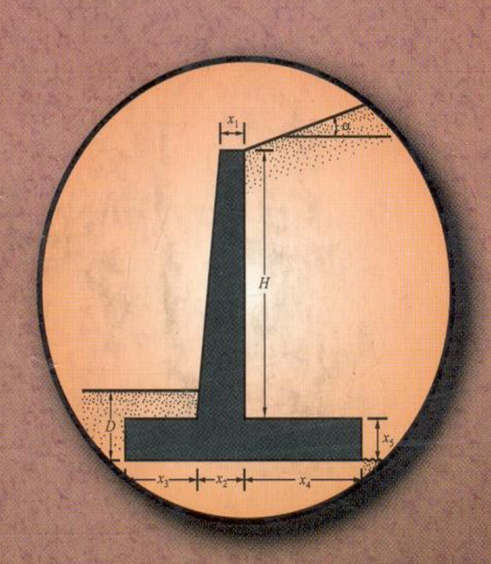


Problemas Resueltos



MECÁNICA DE SUELOS 1 y 2







Editorial
El Estudiante

ÍNDICE

CAPITULO 1

Depósitos de Suelo y Análisis Granulométrico

1.1 La siguiente tabla da los resultados de un análisis por cribado:

Malla(U.S.) No.	Masa de suelo retenido en cada Malla (g)
4	0
10	21.6
20	49.5
40	102.6
60	89.1
100	95.6
200	60.4
Pan	31.2

a. Determine el porcentaje más fino de cada tamaño de malla y dibuje una curva de distribución granulométrica.

b. Determine D_{10}, D_{30} y D_{60} de la curva de distribución granulométrica.

c. Calcule el coeficiente de uniformidad C_u.

d. Calcule el coeficiente de curvatura C_z.

Solución:

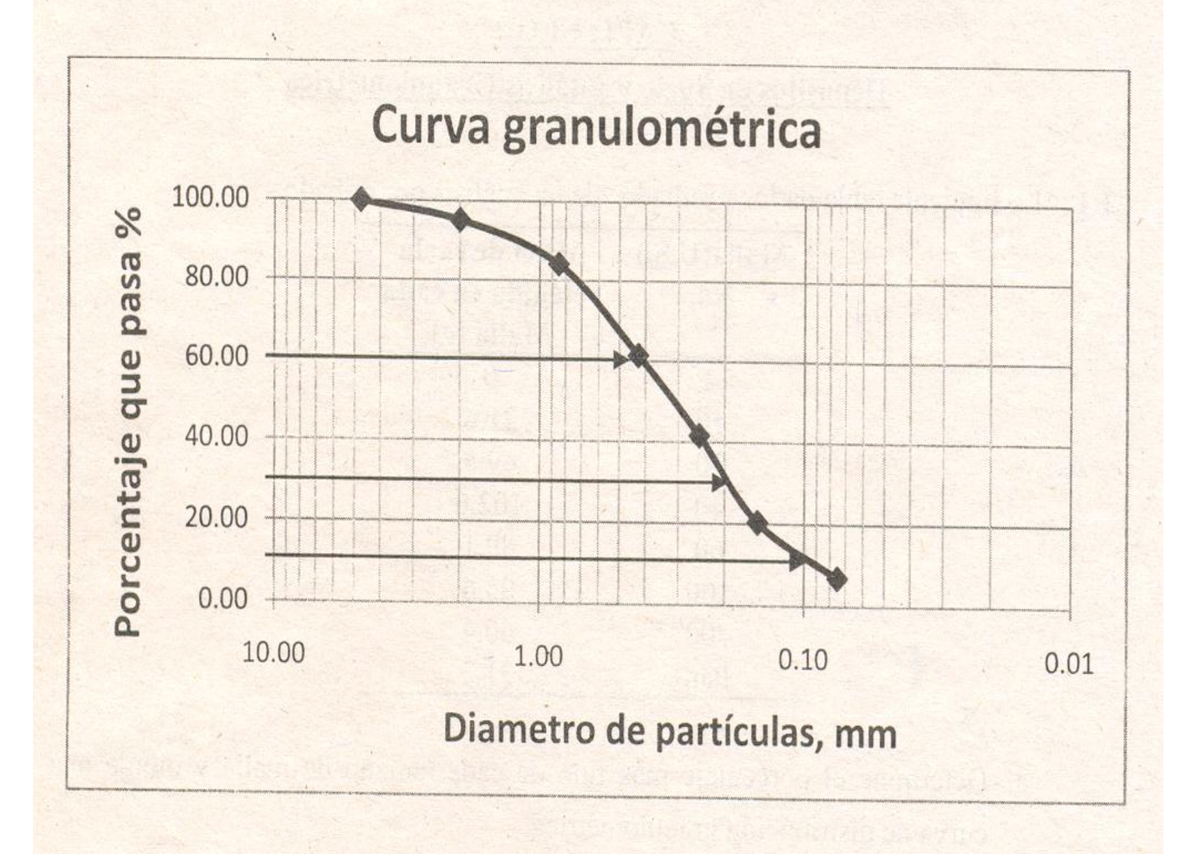
De la gráfica de la curva granulométrica se puede observar que para

D_{10} se tiene que el diámetro de la abertura es de 0.09 mm.

D_{30} se tiene que el diámetro de la abertura es de 0.19 mm.

D_{60} se tiene que el diámetro de la abertura es de 0.41 mm.

a) NOTA: Para los problemas que se van a resolver en este capítulo vamos a tomar los valores analíticos que se dan a continuación, porque en cuestión de graficas influye el tamaño de la grafica en la hoja y la percepción de cada estudiante. A continuación se grafica la curva teniendo en cuenta los diámetros de cada malla en mm.(**Ver tabla 1.1**), que se encuentra al final de este capítulo.



Malla U.S. No. (1)	Masa de Suelo retenida en cada malla (g) (2)	Porcentaje de suelo retenido en cada malla* (3)	Porcentaje que pasa en cada malla (4)
4	0	0	100
10	21.6	4.8	95.2
20	49.5	11	84.2
40	102.6	22.8	61.4
60	89.1	19.8	41.6
100	95.6	21.2	20.4
200	60.4	13.4	7
Pan	31.2	7.0	0
TOTAL (peso neto)	450 g	100 %	

* columna 3 = (columna 2) / (masa total de suelo) × 100

b) Para resolver este problema lo hacemos mediante una manipulación teniendo en cuenta la abertura de cada malla que se encuentra en la tabla 1.1, que se encuentra al final de este capítulo y también considerando que la curva en cada tramo es una línea recta.

De la ecuación de la línea recta se tiene:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

Haciendo cambio de variable:

x = abertura tamiz (escala logarítmica)
y = % que pasa (escala aritmética)

Entonces la expresión quedaría de la siguiente forma:

$$\frac{D_x - D_1}{D_2 - D_1} = \log\left(\frac{\%_x - \%_1}{\%_2 - \%_1}\right)$$

$$D_x = \left[\frac{D_2 - D_1}{\log\%_2 - \log\%_1}\cdot\left(\log\%_x - \log\%_1\right)\right] + D_1$$

Para D_{10} se tiene:

$D_X = D_{10}$
$D_1 = 0.150$
$D_2 = 0.075$
$\%_x = 10$
$\%_1 = 20.4$
$\%_2 = 7$

$$D_{10} = \left[\frac{0.075 - 0.15}{\log(7) - \log(20.4)} \right] \left(\log(10) - \log(20.4) \right) + 0.15$$

$$D_{10} = 0.10\ mm$$

Para D_{30} se tiene:

$D_X = D_{30}$

$D_1 = 0.25$

$D_2 = 0.15$

$\%_x = 30$

$\%_1 = 41.6$

$\%_2 = 20.4$

$$D_{30} = \left[\frac{0.15 - 0.25}{\log(20.4) - \log(41.6)} \right] \left(\log(30) - \log(41.6) \right) + 0.25$$

$$D_{30} = 0.204\ mm$$

Para D_{60} se tiene:

$D_X = D_{60}$

$D_1 = 0.425$

$D_2 = 0.25$

$\%_x = 60$

$\%_1 = 61.4$

$\%_2 = 41.6$

$$D_{60} = \left[\frac{0.25 - 0.425}{\log(41.6) - \log(61.4)} \right] \left(\log(60) - \log(61.4) \right) + 0.425$$

$$D_{60} = 0.41\ mm$$

c) C_u = coeficiente de uniformidad

D_{60} = Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica

D_{10} = Diámetro correspondiente al 10% de finos ó diámetro efectivo

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.41}{0.10}$$

$$C_u = 4.10$$

d) C_z = Coeficiente de curvatura

D_{30} = Diámetro correspondiente al 30% de finos

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{0.204^2}{0.10 \times 0.41}$$

$$C_z = 1.02$$

1.2 Un suelo tiene los siguientes valores:

$D_{10} = 0.1$ mm

$D_{30} = 0.41$ mm

$D_{60} = 0.62$ mm

Calcule el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura del suelo.

Solución:

C_u = coeficiente de uniformidad

C_z = Coeficiente de curvatura

D_{60} = Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica

D_{10} = Diámetro correspondiente al 10% de finos ó diámetro efectivo

D_{30} = Diámetro correspondiente al 30% de finos

Coeficiente de uniformidad:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.62}{0.10}$$

C_u =6.20

Coeficiente de curvatura:

$$C_z = \frac{D_{30}{}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{0.41^2}{0.1 \times 0.62} = \frac{0.1681}{0.062}$$

C_z =0.01

1.3 Resuelva el problema 1.2 para un suelo con los siguientes valores:

D_{10} = 0.082 mm

D_{30} = 0.29 mm

D_{60} = 0.51 mm

Solución:

El coeficiente de uniformidad es:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.51}{0.082}$$

C_u =6.22

El coeficiente de curvatura es:

$$C_z = \frac{D_{30}^{2}}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{0.29^2}{0.082 \times 0.51} = \frac{0.0841}{0.04182}$$

$C_z = 2.01$

1.4 Resuelva el problema 1.1 con los siguientes valores de un análisis por cribado:

Malla(U.S.) No.	Masa de suelo Retenido en cada Malla (g)
4	0
6	30
10	48.7
20	127.3
40	96.8
60	76.6
100	55.2
200	43.4
Pan	22

Solución:

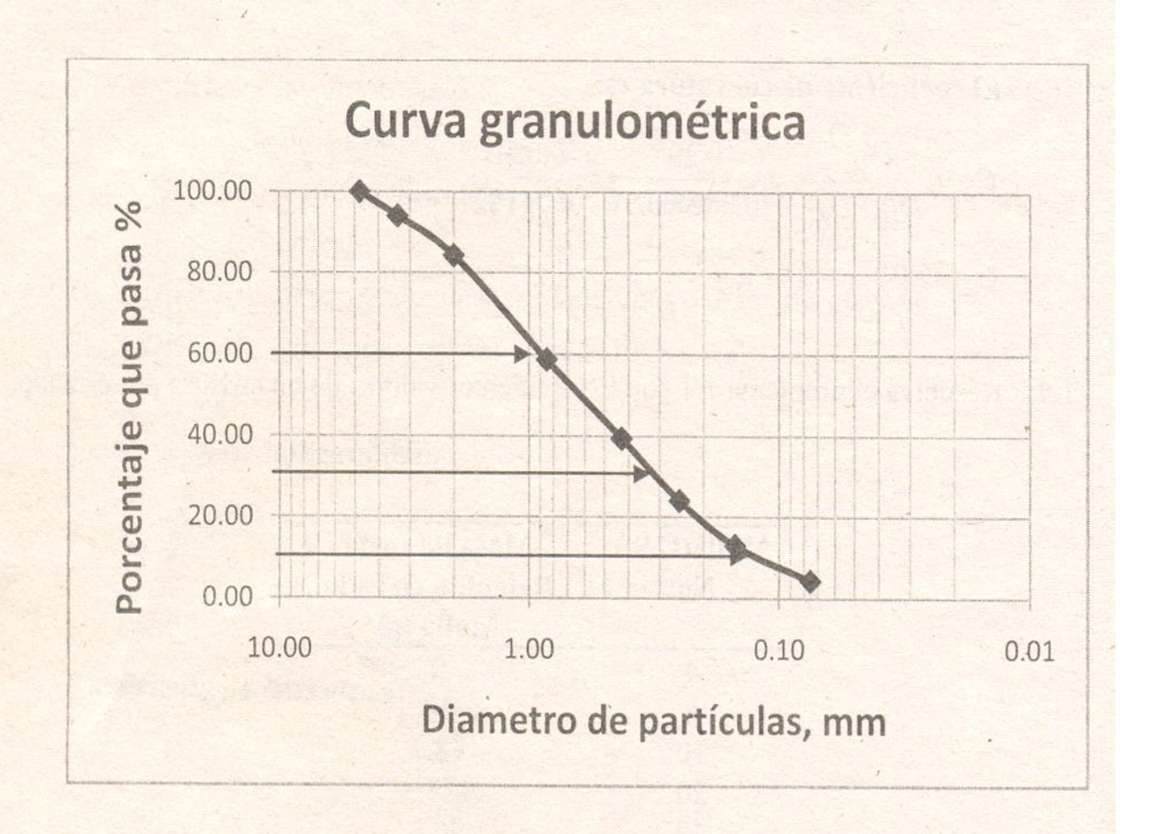
De la gráfica de la curva granulométrica se puede observar que para

D_{10} se tiene que el diámetro de la abertura es de 0.14 mm.

D_{30} se tiene que el diámetro de la abertura es de 0.33 mm.

D_{60} se tiene que el diámetro de la abertura es de 0.90 mm.

a) NOTA: Para los problemas que se van a resolver en este capítulo vamos a tomar los valores analíticos que se dan a continuación, porque en cuestión de graficas influye el tamaño de la grafica en la hoja y la percepción de cada estudiante. A continuación se gráfica la curva teniendo en cuenta los diámetros de cada malla en mm.(**Ver tabla 1.1**), que se encuentra al final de este capítulo.



Malla U.S. No. (1)	Masa de Suelo retenida en cada malla (g) (2)	Porcentaje de suelo retenido en cada malla* (3)	Porcentaje que pasa en cada malla (4)
4	0	0	100
6	30	6.00	94
10	48.7	9.74	84.26
20	127.3	25.46	58.80
40	96.8	19.36	39.44
60	76.6	15.32	24.12
100	55.2	11.04	13.08
200	43.4	8.68	4.40
Pan	22	4.40	0
TOTAL (peso neto)	450 g	100 %	

* Columna 3 = (columna 2)/(masa total de suelo) × 100

b) **Se tiene la siguiente expresión:**

$$D_x = \left[\frac{D_2 - D_1}{\log\%_2 - \log\%_1} \cdot \left(\log\%_x - \log\%_1 \right) \right] + D_1$$

Para D_{10} se tiene:

$D_{10} = x$

$D_1 = 0.150$

$D_2 = 0.075$

$\%_x = 10$

$\%_1 = 13.08$

$\%_2 = 4.40$

$$D_{10} = \left[\frac{0.075 - 0.15}{\log(4.4) - \log(13.08)} \right] \left(\log(10) - \log(13.08) \right) + 0.15$$

$D_{10} = 0.132\ mm$

Para D_{30} se tiene:

$D_{30} = x$

$D_1 = 0.425$

$D_2 = 0.25$

$\%_x = 30$

$\%_1 = 39.44$

$\%_2 = 24.12$

$$D_{30} = \left[\frac{0.25 - 0425}{\log(24.12) - \log(39.44)} \right] \left(\log(30) - \log(39.44) \right) + 0.425$$

$D_{30} = 0.328\ mm$

Para D_{60} se tiene:

$D_{60} = x$

$D_1 = 2$

$D_2 = 0.85$

$\%_x = 60$

$\%_1 = 84.26$

$\%_2 = 58.80$

$$D_{60} = \left[\frac{0.85-2}{\log(58.8)-\log(89.26)}\right](\log(60)-\log(84.26))+2$$

$D_{60} = 1.064\ mm$

c) **C_u = coeficiente de uniformidad**

D_{60} = Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica

D_{10} = Diámetro correspondiente al 10% de finos ó diámetro efectivo

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1.064}{0.132}$$

$$C_u = 8.06$$

d) **C_z = Coeficiente de curvatura**

D_{30} = Diámetro correspondiente al 30% de finos

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{0.328^2}{0.132 \times 1.064} = \frac{0.107}{0.140}$$

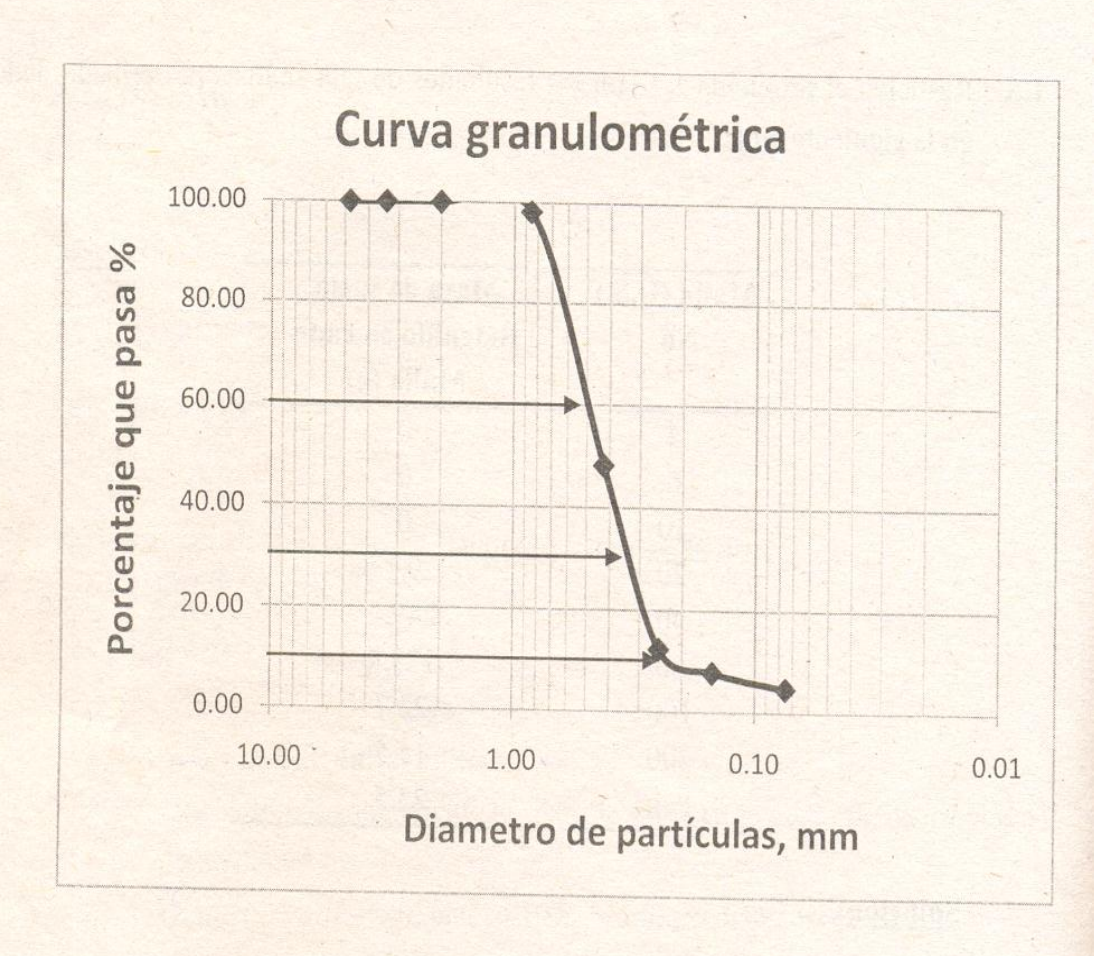
$$C_z = 0.77$$

1.5 Resuelva el problema 1.1 con los resultados de una análisis por cribado dados en la siguiente tabla:

Malla (U.S.) No.	Masa de suelo Retenido en cada Malla (g)
4	0
6	0
10	0
20	9.1
40	249.4
60	179.8
100	22.7
200	15.5
Pan	23.5

Solución:

a) NOTA: Para los problemas que se van a resolver en este capítulo vamos a tomar los valores analíticos que se dan a continuación, porque en cuestión de graficas influye el tamaño de la grafica en la hoja y la percepción de cada estudiante. A continuación se gráfica la curva teniendo en cuenta los diámetros de cada malla en mm.(**Ver tabla 1.1**), que se encuentra al final de este capítulo.



De la gráfica de la curva granulométrica se puede observar que para

D_{10} se tiene que el diámetro de la abertura es de 0.24 mm.

D_{30} se tiene que el diámetro de la abertura es de 0.33 mm.

D_{60} se tiene que el diámetro de la abertura es de 0.50 mm.

Malla U.S. No. (1)	Masa de Suelo retenida en cada malla (g) (2)	Porcentaje de suelo retenido en cada malla* (3)	Porcentaje que pasa en cada malla (4)
4	0	0	100
6	0	0	100
10	0	0	100
20	9.1	1.82	98.18
40	249.4	49.88	48.30
60	179.8	35.96	12.34
100	22.7	4.54	7.80
200	15.5	3.10	4.70
Pan	23.5	4.70	0
TOTAL (peso neto)	450 g	100 %	

* Columna 3 = (columna 2)/(masa total de suelo) × 100

b) Se tiene la siguiente expresión:

$$D_x = \left[\frac{D_2 - D_1}{\log \%_2 - \log \%_1} \cdot \left(\log \%_x - \log \%_1 \right) \right] + D_1$$

Para D_{10} se tiene:

$D_{10} = x$

$D_1 = 0.25$

$D_2 = 0.15$

$\%_x = 10$

$\%_1 = 12.34$

$\%_2 = 7.8$

$$D_{10}=\left[\frac{0.15-0.25}{\log(7.8)-\log(12.34)}\right]\left(\log(10)-\log(12.34)\right)+0.25$$

$D_{10}=0.204\ mm$

Para D_{30} se tiene:

$D_{30}=x$

$D_1=0.425$

$D_2=0.25$

$\%_x=30$

$\%_1=48.3$

$\%_2=12.34$

$$D_{30}=\left[\frac{0.25-0425}{\log(12.34)-\log(48.3)}\right]\left(\log(30)-\log(48.3)\right)+0.425$$

$D_{30}=0.364\ mm$

Para D_{60} se tiene:

$D_{60}=x$

$D_1=0.85$

$D_2=0.425$

$\%_x=60$

$\%_1=98.18$

$\%_2=48.30$

$$D_{60}=\left[\frac{0.425-0.85}{\log(48.3)-\log(98.18)}\right]\left(\log(60)-\log(98.18)\right)+0.85$$

$D_{60}=0.555\ mm$

c) C_u **= coeficiente de uniformidad**

D_{60} = Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica

D_{10} = Diámetro correspondiente al 10% de finos ó diámetro efectivo

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.555}{0.204}$$

$$C_u = 2.72$$

d) C_z **= Coeficiente de curvatura**

D_{30} = Diámetro correspondiente al 30% de finos

$$C_z = \frac{D_{30}^{\,2}}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{0.364^2}{0.204 \times 0.555}$$

$$C_z = \frac{0.1325}{0.1132}$$

$$C_z = 1.17$$

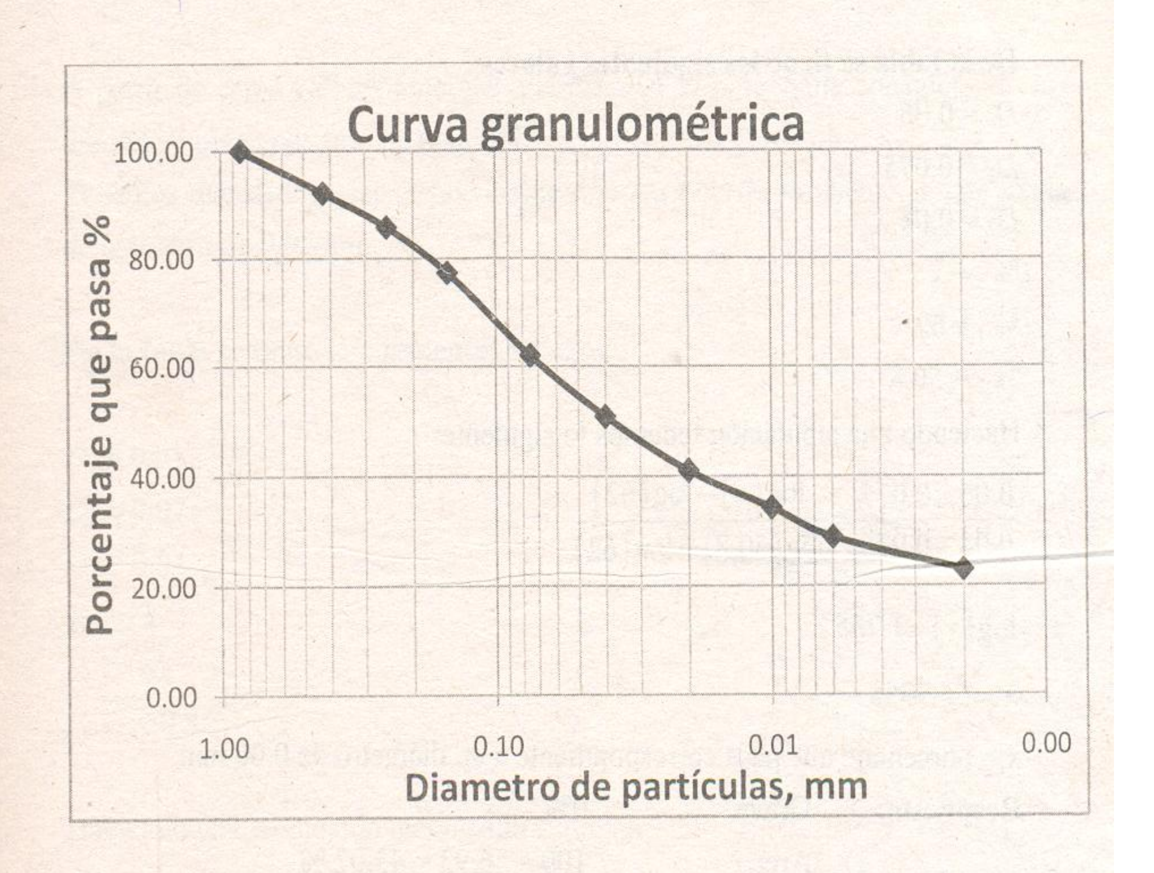
1.6 Las características de las partículas de un suelo se dan en la tabla siguiente. Dibuje la curva de distribución granulométrica y encuentre los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla de acuerdo con el sistema MIT (tabla 1.1).

Tamaño (mm)	Porcentaje que pasa en peso
0.850	100.0
0.425	92.1
0.250	85.8
0.150	77.3
0.075	62.0
0.040	50.8
0.020	41.0
0.010	34.3
0.006	29.0
0.002	23.0

Solución:

Para el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) se tiene la siguiente consideración para los tamaños de grano:

Grava es considerado de más de 2 mm
Arena está entre 0.06 mm a 2 mm
Limo está entre 0.002 mm a 0.06 mm
Arcilla es considerado menos de 0.002 mm.
A partir de estos valores tenemos que calcular el porcentaje que pasa considerando los diámetros para cada tipo de material.



Tamaño (mm)	% que pasa	%acumulado	% retenido
0.850	100	0	0
0.425	92.1	7.9	7.9
0.250	85.8	14.2	6.3
0.150	77.3	22.7	8.5
0.075	62.0	38.0	15.3
0.040	50.8	49.2	11.2
0.020	41.0	59.0	9.8
0.010	34.3	65.7	6.7
0.006	29.0	71.0	5.3
0.002	23.0	77.0	6

Tenemos que determinar el porcentaje que pasa correspondiente a una malla de diámetro de 0.06 mm.

De la tabla se tiene los siguientes valores:

$D_x = 0.06$

$D_1 = 0.075$

$D_2 = 0.04$

$\%_x = x$

$\%_1 = 62$

$\%_2 = 50.8$

Haciendo una tabulación tenemos lo siguiente:

$$\frac{0.06-0.075}{0.04-0.075}=\frac{\log(x)-\log(62)}{\log(50.8)-\log(62)}$$

$$\log(x)=1.755$$

$$x=56.93\%$$

x = porcentaje que pasa correspondiente a un diámetro de 0.06 mm.

Respuesta:	Grava	:	0%
	Arena	:	100 – 56.93 = 43.07 %
	Limo	:	56.93 – 23 = 33.93%
	Fino	:	23%

1.7 Resuelva el problema 1.6 de acuerdo con el sistema USDA (tabla 1.1).

Solución:

Para el departamento de Agricultura de Estados unidos (USDA) se tiene la siguiente consideración para los tamaños de grano:

Grava es considerado de más de 2 mm

Arena está entre 0.05 mm a 2 mm

Limo está entre 0.002 mm a 0.05 mm

Arcilla es considerado menos de 0.002 mm.

A partir de estos valores tenemos que calcular el porcentaje considerando los diámetros para cada tipo de material.

Tenemos que determinar el porcentaje que pasa correspondiente a una malla de diámetro de 0.05 mm.

De la tabla se tiene los siguientes valores:

$D_x = 0.05$

$D_1 = 0.075$

$D_2 = 0.04$

$\%_x = x$

$\%_1 = 62$

$\%_2 = 50.8$

Haciendo una tabulación tenemos lo siguiente:

$$\frac{0.05-0.075}{0.04-0.075} = \frac{\log(x)-\log(62)}{\log(50.8)-\log(62)}$$

$$\log(x) = 1.73$$

$$x = 53.78\%$$

x = porcentaje que pasa correspondiente a un diámetro de 0.05 mm.

Respuesta:

Grava : 0%

Arena : 100 – 53.78 = 46.22 %

Limo : 53.78 – 23 = 30.78 %

Fino : 23%

1.8 Resuelva el problema 1.6 de acuerdo con el sistema AASHTO (tabla 1.1).

Solución:

Para la Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO) se tiene la siguiente consideración para los tamaños de grano:

Grava está entre 2 mm a 76 mm
Arena está entre 0.075 mm a 2 mm
Limo está entre 0.002 mm a 0.075 mm
Arcilla es considerado menos de 0.002 mm.
A partir de estos valores tenemos que calcular el porcentaje considerando los diámetros para cada tipo de material.

De la tabla se puede encontrar los siguientes valores:

Respuesta:
Grava : 0%
Arena : 100 – 62 = 38%
Limo : 62 – 23 = 39%
Fino : 23%

1.9 Las características del tamaño de las partículas de un suelo se dan en la siguiente tabla. Encuentre los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla de acuerdo con el sistema MIT (tabla 1.1).

Tamaño (mm)	Porcentaje que pasa en peso
0.850	100.0
0.425	100.0
0.250	94.1
0.150	79.3
0.075	34.1
0.040	28.0
0.020	25.2
0.010	21.8
0.006	18.9
0.002	14.0

Solución:

Para el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) se tiene la siguiente consideración para los tamaños de grano:

Grava es considerado de más de 2 mm
Arena está entre 0.06 mm a 2 mm
Limo está entre 0.002 mm a 0.06 mm
Arcilla es considerado menos de 0.002 mm.
A partir de estos valores tenemos que calcular el porcentaje considerando los diámetros para cada tipo de material.

De la tabla se tiene los siguientes valores:

$D_x = 0.06$

$D_1 = 0.075$

$D_2 = 0.04$

$\%_x = x$

$\%_1 = 34.1$

$\%_2 = 28$

Haciendo una tabulación tenemos lo siguiente:

$$\frac{0.06-0.075}{0.04-0.075}=\frac{\log(x)-\log(34.1)}{\log(28)-\log(34.1)}$$

$$\log(x)=1.496$$

$$x=31.38\%$$

x = porcentaje que pasa correspondiente a un diámetro de 0.06 mm.

Respuesta:

Grava : 0%

Arena : 100 – 31.38 = 68.62 %

Limo : 31.38 – 14 = 17.30 %

Fino : 14 %

1.10 Resuelva el problema 1.9 de acuerdo con el sistema USDA (tabla 1.1).

Solución:

Para el departamento de Agricultura de Estados unidos (USDA) se tiene la siguiente consideración para los tamaños de grano:

Grava es considerado de más de 2 mm

Arena está entre 0.05 mm a 2 mm

Limo está entre 0.002 mm a 0.05 mm

Arcilla es considerado menos de 0.002 mm.

A partir de estos valores tenemos que calcular el porcentaje considerando los diámetros para cada tipo de material.

De la tabla se tiene los siguientes valores:

$D_x = 0.05$

$D_1 = 0.075$

$D_2 = 0.04$

$\%_x = x$

$\%_1 = 31.4$

$\%_2 = 28$

Haciendo una tabulación tenemos lo siguiente:

$$\frac{0.05-0.075}{0.04-0.075}=\frac{\log(x)-\log(34.1)}{\log(28)-\log(34.1)}$$

$$\log(x)=1.472$$

$$x=29.62\%$$

x = porcentaje que pasa correspondiente a un diámetro de 0.05 mm.

Respuesta:

Grava : 0%

Arena : 100 – 29.62 = 70.38 %

Limo : 29.62 – 14 = 15.62 %

Fino : 14%

1.11 Resuelva el problema 1.9 de acuerdo con el sistema AASHTO (tabla 1.1).

Solución:

Para la Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO) se tiene la siguiente consideración para los tamaños de grano:

Grava está entre 2 mm a 76 mm

Arena está entre 0.075 mm a 2 mm

Limo está entre 0.002 mm a 0.075 mm

Arcilla es considerado menos de 0.002 mm.

A partir de estos valores tenemos que calcular el porcentaje considerando los diámetros para cada tipo de material.

De la tabla se tiene los siguientes valores:

Respuesta:

Grava : 0%

Arena : 100 – 34.1 = 65.9%

Limo : 34.1 – 14 = 20.1%

Fino : 14.0%

Tabla 1.1 Tamaño de mallas estándar en Estados Unidos.

Malla No.	Abertura(mm)	Malla No.	Abertura(mm)
4	4.750	50	0.300
6	3.350	60	0.250
8	2.360	80	0.180
10	2.000	100	0.150
16	1.180	140	0.106
20	0.850	170	0.088
30	0.600	200	0.075
40	0.425	270	0.053

CAPÍTULO 2

Relaciones Volumétricas y Gravimétricas,

Plasticidad y Clasificación de los Suelos

2.1 El peso húmedo de 2.83×10^{-3} de suelo es 54.3 N. si el contenido de agua es 12% y la densidad de sólidos es 2.72, encuentre lo siguiente:

a) Peso específico húmedo (kN/m^3)
b) Peso específico seco (kN/m^3)
c) Relación de vacíos
d) Porosidad
e) Grado de saturación (%)
f) Volumen ocupado por agua (m^3)

Solución:

Datos:

$W_h = 54.3\ N$

$V_h = 2.83 \times 10^{-3}\ m^3$

$w = 12\%$

$G_s = 2.72$

a) El peso específico húmedo (ecuación 2.9) es:

$$\gamma = \frac{W_h}{V_h}$$

$$\gamma = \frac{54.3\ N}{2.83 \times 10^{-3}\ m^3}$$

$$\gamma = 19.19 \times 10^3 \frac{N}{m^3}$$

$$\gamma = 19.19\ kN/m^3$$

b) El peso específico seco (ecuación 2.12) es:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$$

$$\gamma = \frac{19.19}{1+0.12} = 17.13\ kN/m^3$$

c) La relación de vacios se obtiene de la ecuación 2.16:

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_W}{1+e}$$

$$17.13 \frac{kN}{m^3} = \frac{2.72 \times 9.81}{1+e} \frac{kN}{m^3}$$

$$\Rightarrow 1+e = 1.56$$

$$e = 0.56$$

d) Para la porosidad se obtiene de la ecuación 2.7:

$$n = \frac{e}{1+e}$$

$$n = \frac{0.56}{1+0.56} = \frac{0.56}{1.56}$$

$$n = 0.36$$

e) Encontramos el grado de saturación de la ecuación 2.17:

$$Se = wG_s$$

$$S = \frac{w \cdot G_s}{e}$$

$$S = \frac{0.12 \times 2.72}{0.56}$$

$$S = 58.3\%$$

f) Se obtiene de la ecuación 2.11 la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

$$W_s = \gamma_d \cdot V$$

$$\gamma_d = 17.13 \times 10^3 \ N/m^3$$

$$V = 2.83 \times 10^{-3} m^3$$

$$W_s = 48.48 \ N$$

$$W_W = W_h - W_s$$

$$W_W = 54.3 - 48.48$$

$$W_W = 5.82 \ N$$

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$V_W = \frac{5.82}{9.81}$$

$$V_W = 0.593 \times 10^{-3} \ \mathrm{m}^3$$

2.2 La densidad seca de una arena con una porosidad de 0.387 es de 1600 kg/m³. Encuentre la densidad de sólidos del suelo y la relación de vacíos del suelo.

Solución:

Datos:

$\rho_d = 1600\ kg/m^3$

$n = 0.387$

Se tiene la siguiente expresión para la relación de porosidad y vacios según la ecuación 2.7:

$$n = \frac{e}{1+e}$$

$$0.387 = \frac{e}{1+e} \Rightarrow 0.387 + 0.387e = e$$

$$0.387 = 0.613e$$

$$e = \frac{0.387}{0.613}$$

$$e = 0.631$$

Se tiene la siguiente expresión de la ecuación 2.16 para determinar la densidad de sólidos:

$$\rho_d = \frac{G_s \cdot \rho_W}{1+e}$$

$$1600\ \frac{\cancel{kg}}{\cancel{m^3}} = \frac{G_s \cdot 1000}{(1+0.63)} \frac{\cancel{kg}}{\cancel{m^3}}$$

$G_s = 2.61$

2.3 El peso específico húmedo de un suelo es de 19.2 kN/m³. Si G_s = 2.69 y el contenido de agua w = 9.8%, determine los siguientes valores:

a) Peso específico seco (kN/m³)

b) Relación de vacíos

c) Porosidad

d) Grado de saturación (%)

Solución:

Datos:

$$\gamma = 19.2\ kN/m^3$$

$$G_s = 2.69$$

$$w = 9.8\%$$

e) peso específico seco:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} = \frac{19.2\ kN/m^3}{1+0.098} = 17.49\ kN/m^3$$

f) Para la relación de vacíos usamos la siguiente ecuación:

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_W}{1+e}$$

$$17.49 = \frac{2.69 \times 9.81}{1+e}$$

$$e = 0.509$$

g) Para la porosidad tenemos:

$$n = \frac{e}{1+e}$$

$$n = \frac{0.509}{1+0.509}$$

$$n = 0.337$$

h) Para el grado de saturación usamos la siguiente ecuación:

$$Se = wG_s$$

$$S = \frac{0.098 \times 2.69}{0.509}$$

$$S = 51.8\%$$

2.4 Para un suelo saturado w = 40% y G_s = 2.71; determine los pesos específicos saturado y seco en kN/m^3.

Solución:

Suelo saturado:

$$V_V = W_W$$

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$w = 40\%$$

$$G_s = 2.71$$

$$e = wG_s$$

$$e = 0.4 \times 2.71 = 1.084$$

$$\gamma_{sat} = \left(\frac{G_s + e}{1 + e}\right)\gamma_w$$

$$\gamma_{sat} = \frac{2.71 + 1.084}{1 + 1.084}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{3.794 \times 9.81}{2.084}$$

$$\gamma_{sat} = 17.86\ kN/m^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{sat}}{1+w}$$

$$\gamma_d = \frac{17.86}{1+0.4}$$

$$\gamma_d = 12.76 \ kN/m^3$$

2.5 La masa de una muestra de suelo húmedo obtenido en campo es de 465 g y su masa secada en horno es de 405.76 g. La densidad de sólidos del suelo se determinó en laboratorio igual a 2.68. Si la relación de vacíos del suelo en estado natural es de 0.83, encuentre lo siguiente:

a) La densidad húmeda del suelo en el campo (kg/m^3)

b) La densidad seca del suelo en el campo (kg/m^3)

c) La masa de agua, en kilogramos, por añadirse por metro cúbico de suelo en el campo para saturarlo.

Solución:

Datos:

$m_h = 465g$ $\qquad$ $d_{S(lab)} = 2.68$

$m_{seca} = 405.76g$ $\qquad$ $e_{natural} = 0.83$

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$

$$V_s = \frac{m_s}{\rho_s}$$

$$V_s = \frac{405.76}{2.68} = 151.4 \ cm^3$$

$m_{agua} = m_h - m_{seca}$

$m_{agua} = 465 - 405.76$

$m_{agua} = 59.24\,g$

$V_{agua} = 59.24\ m^3$

$$e = \frac{V_V}{V_s}$$

$V_V = e \cdot V_s$

$V_V = 0.83 \times 151.4$

$V_V = 125.66\ m^3$

$V_m = V_V + V_s$

$V_m = 125.66 + 151.4$

$V_m = 277.06\ cm^3$

a) La densidad húmeda del suelo en el campo es:

$$\rho_h = \frac{m_h}{V_m}$$

$$\rho_h = \frac{465}{277.06}$$

$$\rho_h = 1.678 \frac{g}{cm^3}$$

$\rho_h = 1678\ kg/m^3$

b) La densidad seca del suelo en el campo es:

$$\rho_{seca} = \frac{m_{seca}}{V_m}$$

$$\rho_{seca} = \frac{405.76}{277.06}$$

$$\rho_{seca} = 1.465\ \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_{seca} = 1465\ kg/m^3$$

c) La densidad saturada del suelo se obtiene de la ecuación 2.19c:

$$\rho_{sat} = \frac{(G_s + e)}{1+e}\rho_w$$

$$\rho_{sat} = \frac{(2.68 + 0.83)}{1+0.83} \times 1000$$

$$\rho_{sat} = 1918.03\ kg/m^3$$

La masa de agua necesaria para añadir por metro cubico es igual a:

$$\rho_{sat} - \rho_h = 1918.03 - 1678 = 240.03\,Kg/m^3$$

2.6 Un suelo tiene un peso específico de 19.9 kN/m^3. Se dan G_s = 2.67 y w = 12.6%; determine los siguientes valores:

a) Peso específico seco
b) Relación de vacíos
c) Porosidad
d) El peso del agua por metro cúbico de suelo necesaria para tener una saturación completa

Solución:

Datos:

$\gamma_m = 19.9\ kN/m^3$

$G_s = 2.67$

$w = 12.6\%$

a) El peso específico seco esta dado por la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1+w}$$

$$\gamma_d = \frac{19.9\ kN/m^3}{1+0.126}$$

$$\gamma_d = 17.67\ kN/m^3$$

b) La relación de vacios se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_W}{1+e}$$

$$17.67 = \frac{2.67 \times 9.81}{1+e}$$

$$e = 0.48$$

c) La porosidad viene dado por esta relación:

$$n = \frac{e}{1+e}$$

$$n = \frac{0.48}{1+0.48}$$

$$n = 0.32$$

d) Para calcular el peso hallamos primero la densidad saturada:

$$\rho_{sat} = \frac{(G_s + e)}{1+e}\rho_w$$

$$\rho_{sat} = \frac{(2.67 + 0.48)}{1+0.48}\times 1000$$

$$\rho_{sat} = 2128.4\ kg/m^3$$

$$\rho = \frac{(1+w)}{1+e}\cdot G_s\rho_w$$

$$\rho = \frac{(1+0.126)}{1+0.48}\times 2.67\times 1000$$

$$\rho = 2031.4\ kg/m^3$$

La masa de agua necesaria por metro cubico es igual a:

$$\rho_{sat} - \rho_h = 2128.4 - 2031.4 = 97\ kg/m^3$$

El peso del agua seria igual a:

$$W_{agua} = m\times g = 97\times 9.81$$

$$W_{agua} = 951.7\ N$$

2.7 El peso específico saturado de un suelo es de 20.1 kN/m^3. Si G_s = 2.74, determine los siguientes valores:

a) γ_{seco}

b) e

c) n

d) w (%)

Solución:

Datos:

$$\gamma_{sat} = 20.1 \ kN/m^3$$

$$G_s = 2.74$$

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)}{1+e} \cdot \gamma_W$$

a) **Para el peso específico seco tenemos la siguiente expresión, pero primero determinamos la relación de vacíos en el paso b:**

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+e}$$

$$\gamma_d = \frac{2.74 \times 9.81}{1+0.66}$$

$$\gamma_d \doteq 16.2 \ kN/m^3$$

b) Con esta expresión podemos hallar la relación de vacíos:

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)}{1+e} \cdot \gamma_W$$

$$20.1 = \frac{(2.74 + e)}{(1+e)} \cdot 9.81$$

$$20.1 + 20.1e = 26.88 + 9.81e$$

$$10.29e = 6.78$$

$$e = 0.66$$

c) La porosidad es:

$$n = \frac{e}{1+e}$$

$$n = \frac{0.66}{1+0.66}$$

$$n = 0.4$$

d) Esta expresión que se demuestra más adelante es útil cuando se tiene estos datos:

$$\gamma_{sat} = \gamma_W \left[\frac{e}{w}\right]\left[\frac{1+w}{1+e}\right]$$

$$20.1 = 9.81\left(\frac{0.66}{w}\right)\left[\frac{1+w}{1+0.66}\right]$$

$$5.15 = \frac{1+w}{w}$$

$$5.15w = 1+w$$

$$4.15w = 1$$

$$w = 1/415$$

$$w = 24.1\%$$

2.8 Para un suelo, e = 0.86, w = 28% y G_s = 2.72; determine los siguientes valores:

a) Peso específico húmedo

b) Grado de saturación (%)

Solución:

a) Peso específico húmedo viene dado por la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{(1+w)G_s \cdot \rho_W}{1+e}$$

$$\rho = \frac{(1+0.28)\times 2.72\times 1000}{1+0.86}$$

$$\rho = 1871.8\ kg/m^3$$

Por consiguiente el peso específico húmedo es:

$$\gamma\left(kN/m^3\right) = \rho \cdot g$$

$$\gamma = \frac{1871.8\times 9.81}{1000}$$

$$\gamma = 18.36\ kN/m^3$$

b) El grado de saturación viene dado por la siguiente ecuación:

$$S \cdot e = w \cdot G_s$$

$$S = \frac{w \cdot G_s}{e}$$

$$S(\%) = \frac{0.28\times 2.72}{0.86}$$

$$S = 88.55\%$$

2.9 Para un suelo saturado, γ_d = 15.3 kN/m^3 y w = 21 %; determine los siguientes valores:

a) γ_{sat}

b) e

c) G_s

d) $\gamma_{húm}$ cuando el grado de saturación es de 50 %

Solución:

Datos:

$\gamma_d = 15.3\ kN/m^3 \qquad w = 21\%$

a) El peso específico saturado se obtiene a partir del peso específico seco:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{sat}}{1+w}$$

$$\gamma_{sat} = (15.3)(1+0.21)$$

$$\gamma_{sat} = 18.5\ kN/m^3$$

b) Esta ecuación nos ayuda para encontrar la relación de vacíos a partir de estos datos:

$$\gamma_{sat} = \gamma_W \left(\frac{e}{w}\right)\left[\frac{(1+w)}{(1+e)}\right]$$

$$18.5 = \left(\frac{e}{0.21}\right)\left(\frac{1+0.21}{1+e}\right) \times \gamma_W$$

$$18.5 \times 0.21(1+e) = 1.21e \times \gamma_W$$

$$3.885 + 3.885e = 1.21e \times 9.81$$

$$3.885 + 3.885e = 11.87e$$

$$e = \frac{3.885}{7.985}$$

$$e = 0.487$$

c) La densidad de sólidos se determina de la siguiente ecuación:

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_W}{1+e}$$

$$G_s = \frac{\gamma_d}{\gamma_W} \times (1+e)$$

$$G_s = \frac{15.3}{9.81} \times (1+0.487)$$

$$G_s = 2.32$$

d) El grado de saturación:

$$S = 50\%$$

$$S \cdot e = w \cdot G_s$$

$$S = \frac{w \cdot G_s}{e}$$

$$0.50 = w \cdot \frac{2.32}{0.487}$$

$$w = 10.49\%$$

$$\gamma_{húm} = (1+w)\gamma_d$$

$$\gamma_{húm} = 15.3 \times (1+w) = 1.53(1+0.1049)$$

$$\gamma_{húm} = 16.9 \; kN/m^3$$

2.10 Demuestre que para todo suelo, $\gamma_{sat} = \gamma_w(e/w)[1 + w]/(1 + e)]$.

Solución:

Se tiene que:

$$\gamma_{Sat} = \frac{W_S + W_W}{V_S + V_W} \qquad [1]$$

Considerando $V_S = 1$ (Estrategia):

$$\gamma_{Sat} = \frac{W_S + W_W}{1 + V_W} \qquad [2]$$

Teniendo en cuenta que Vs = 1, entonces se tendría que:

$$e = V_V \qquad [3]$$

Donde $V_v = V_w$ (Suelo saturado):

$$e = V_W \qquad [4]$$

Luego se tiene:

$$W_W = \gamma_W \cdot V_W \qquad \Rightarrow \qquad W_W = \gamma_W \cdot e \qquad [5]$$

También se sabe que:

$$w = \frac{W_W}{W_S} \qquad \Rightarrow \qquad W_S = \frac{W_W}{w} \qquad [6]$$

Reemplazando la ecuación [5] en la ecuación [6]:

$$W_S = \frac{\gamma_W \cdot e}{w} \qquad [7]$$

Reemplazando las ecuaciones [4], [5] y [7] en [2]:

$$\gamma_{Sat} = \left(\frac{\gamma_W \cdot e}{w} + \gamma_W \cdot e\right)\frac{1}{(1+e)} \qquad [8]$$

$$\gamma_{Sat} = \left(\frac{\gamma_W \cdot e + \gamma_W \cdot e \cdot w}{w}\right)\cdot\frac{1}{(1+e)}$$

$$\gamma_{Sat} = \left(\frac{e}{w}\right)\cdot\left(\frac{1+w}{1+e}\right)\cdot\gamma_W$$

2.11 Las relaciones de vacíos máxima y mínima de una arena son 0.8 y 0.41, respectivamente. ¿Cuál es la relación de vacíos del suelo correspondiente a una compacidad relativa de 48 %?

<u>**Solución:**</u>

Datos:

$e_{máx} = 0.80$

$e_{mm} = 0.41$

$C_r = 48\%$

De la ecuación 2.20 tenemos la siguiente ecuación:

$$C_r = \frac{e_{máx} - e}{e_{máx} - e_{mm}}, donde:$$

$C_r = compacidad\ relativa, usualmente\ dada\ como\ porcentaje$

$e = relación\ de\ vacíos\ in\ situ\ del\ suelo$

$e_{máx} = relación\ de\ vacíos\ del\ suelo\ en\ la\ condición\ más\ suelta$

$e_{min} = relación\ de\ vacíos\ del\ suelo\ en\ la\ condición\ más\ densa$

Reemplazando podemos hallar la relación de vacíos:

$$0.48 = \frac{0.80 - e}{0.80 - 0.41}$$

$$0.1872 = 0.80 - e$$

$$e = 0.61$$

2.12 Para una arena, las relaciones de vacío máxima y mínima posibles son de 0.94 y 0.33, respectivamente, según se determinó en el laboratorio. Encuentre el peso específico húmedo de una arena compactada en el campo a una compacidad relativa de 60 % y contenido de agua de 10 %. Si G_s = 2.65, calcule también los pesos específicos secos máximo y mínimo posibles que la arena tiene.

Solución:

Datos:

$$e_{máx} = 0.94$$

$$e_{min} = 0.33$$

Calcular $\gamma_{húmedo}$**:**

$$C_r = 60\%$$

$$w = 10\%$$

$$G_s = 2.65$$

$$C_r = \frac{e_{máx} - e}{e_{máx} - e_{min}}$$

$$0.60 = \frac{0.94 - e}{0.94 - 0.33}$$

$$e = 0.574$$

Para determinar el peso específico húmedo usamos la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{(1+w)}{1+e} \times G_s \rho_W = \frac{(1+0.10) \times 2.65 \times 1000}{1+0.574}$$

$$\rho = 1852 \ kg/m^3$$

$$\gamma_{húmedo} = \rho \cdot g$$

$$\gamma_{húmedo} = \frac{9.81 \times 1852}{1000}$$

$$\gamma_{húmedo} = 18.17 \ kN/m^3$$

El peso específico mínimo se obtiene cuando la relación de vacios es máximo:

$$\rho_{mín} = \frac{(1+0.10) \times 2.65 \times 1000}{1+0.94} = 1502.6 \ kg/m^3$$

$$\gamma_{min} = \rho_{min} g = \frac{9.81 \times 1502.6}{1000}$$

$$\gamma_{min} = 14.74 \ kN/m^3$$

El peso específico máximo se obtiene cuando la relación de vacios es mínimo:

$$\rho_{máx} = \frac{(1+0.10) \times 2.65 \times 1000}{1+0.33} = 2191.7 \ kg/m^3$$

$$\gamma_{máx} = \rho_{máx} g$$

$$\gamma_{máx} = \frac{9.81 \times 2191.7}{1000}$$

$$\gamma_{máx} = 21.5 \ kN/m^3$$

2.13 Un suelo saturado con un volumen de 19.65 cm^3 tiene una masa de 36 g. Cuando el suelo se secó, su volumen y masa fueron de 13.5 cm^3 y 25 g, respectivamente. Determine el límite de contracción para el suelo.

Solución:

De la ecuación 2.23 tenemos lo siguiente:

$$SL = w_i(\%) - \Delta w(\%) \qquad \ldots (1)$$

Donde:

w_i = Contenido de agua inicial cuando el suelo se coloca en el recipiente de limite de contracción

Δw = cambio en el contenido de agua (es decir, entre el contenido de humedad inicial y el contenido de agua en el límite de contracción).

Sin embargo,

$$w_i(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \qquad \ldots (2)$$

Donde

m_1 = masa del suelo húmedo en el recipiente al principio de la prueba (g)

m_2 = masa del suelo seco (g)

Además,

$$\Delta w(\%) = \frac{(V_i - V_f)\rho_w}{m_2} \times 100 \qquad \ldots (3)$$

Donde

V_i = volumen inicial del suelo húmedo (es decir, el volumen dentro del recipiente, cm^3)

V_f = volumen de la masa de suelo secada en horno (cm^3)
ρ_w = densidad del agua (g/cm^3)

Ahora, combinando las ecuaciones (1), (2) y (3) tenemos:

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2}\right)(100) - \left[\frac{\left(V_i - V_f\right)\rho_w}{m_2}\right](100)$$

Datos del suelo en ambos estados:

Suelo saturado:

V_i = 19.65 cm^3
m_1 = 36 g

Suelo seco:

V_f = 13.5 cm^3
m_2 = 25 g

$$w_i(\%) = \frac{36 - 25}{25} \times 100 = 44\%$$

$$\Delta w(\%) = \left(\frac{19.65 - 13.5}{25}\right) \times 100$$

$$\Delta w(\%) = 24.6$$

$$SL = w_i(\%) - \Delta w(\%)$$

$$SL = 44 - 24.6$$

$$SL = 19.4\%$$

2.14 El análisis por cribado de diez suelos y los límites líquido t plástico de la fracción que pasa por la malla No. 40 se dan en la tabla. Clasifique los suelos de acuerdo con el Sistema de Clasificación AASHTO y dé los índices de grupos.

Suelo No.	Análisis por cribado, Porcentaje que pasa			Limite liquido	Limite plástico
	No. 10	No. 40	No. 200		
1	98	80	50	38	29
2	100	92	80	56	23
3	100	88	65	37	22
4	85	55	45	28	20
5	92	75	62	43	28
6	97	60	30	25	16
7	100	55	8	–	NP
8	94	80	63	40	21
9	83	48	20	20	15
10	100	92	86	70	38

Solución:

* **Para el suelo 1**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 50%, mayor que 35%, por lo que se trata de un material de arcilla limosa. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 vemos que tal suelo cae bajo A-4. De la ecuación (2.30), tenemos:

$$GI = (F-35)\left[0.2+0.005(LL-40)\right]+0.01(F-15)(PI-10)$$

Para este suelo, $F = 50$, $LL = 38$ y $PI = 9$, por lo que

$$GI = (50-35)\left[0.2+0.005(38-40)\right]+0.01(50-15)(9-10) = 2.5 \approx 3$$

Por consiguiente el suelo es A-4(3)

* **Para el suelo 2**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 80%, mayor que 35%, por lo que se trata de un material de arcilla limoso. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 vemos que tal suelo cae bajo A-7. Para este caso $PI = 33 > LL - 30$, Por lo que es A-7-6. De la ecuación (2.30), tenemos:

$$GI = (F-35)\left[0.2+0.005(LL-40)\right]+0.01(F-15)(PI-10)$$

Para este suelo, $F = 80$, $LL = 56$ y $PI = 33$, por lo que

$$GI = (80-35)\left[0.2+0.005(56-40)\right]+0.01(80-15)(33-10) = 27.55 \approx 28$$

Por consiguiente el suelo es A-7-6(28)

* **Para el suelo 3**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 65%, mayor que 35%, por lo que se trata de un material de arcilla limosa. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 vemos que tal suelo cae bajo A-6. De la ecuación (2.30), tenemos:

$$GI = (F-35)\left[0.2+0.005(LL-40)\right]+0.01(F-15)(PI-10)$$

Para este suelo, $F = 65$, $LL = 37$ y $PI = 15$, por lo que

$$GI = (65-35)\left[0.2+0.005(37-40)\right]+0.01(65-15)(15-10) = 8.05 \approx 8$$

Por consiguiente el suelo es A-6(8)

* **Para el suelo 4**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 45%, mayor que 35%, por lo que se trata de un material de arcilla limosa. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 vemos que tal suelo cae bajo A-4. De la ecuación (2.30), tenemos:

$$GI = (F-35)\left[0.2+0.005(LL-40)\right]+0.01(F-15)(PI-10)$$

Para este suelo, $F = 45$, $LL = 28$ y $PI = 8$, por lo que

$$GI = (45-35)\left[0.2+0.005(28-40)\right]+0.01(45-15)(8-10) = 0.8 \approx 1$$

Por consiguiente el suelo es A-4(1)

* **Para el suelo 5**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 62%, mayor que 35%, por lo que se trata de un material de arcilla limosa. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 vemos que tal suelo cae bajo A-7. Para este caso $PI = 15 > LL - 30$, por lo que es A-7-6. De la ecuación (2.30), tenemos:

$$GI = (F-35)\left[0.2+0.005(LL-40)\right]+0.01(F-15)(PI-10)$$

Para este suelo, $F = 62$, $LL = 43$ y $PI = 15$, por lo que

$$GI = (62-35)\left[0.2+0.005(43-40)\right]+0.01(62-15)(15-10) = 8.16 \approx 8$$

Por consiguiente el suelo es A-7-6(8)

* **Para el suelo 6**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 30%, menor que 35%, por lo que se trata de un material de granular. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-2-4.

El índice de grupo para esta clasificación siempre es 0

Por consiguiente el suelo es A-2-4(0)

* **Para el suelo 7**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 8%, menor que 35%, por lo que se trata de un material de granular. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-3.

El índice de grupo para esta clasificación siempre es 0

Por consiguiente el suelo es A-3(0)

* **Para el suelo 8**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 63%, mayor que 35%, por lo que se trata de un material de arcilla limosa. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-6. De la ecuación (2.30), tenemos:

$$GI = (F-35)[0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15)(PI-10)$$

Para este suelo, $F = 63$, $LL = 40$ y $PI = 19$, por lo que

$$GI = (63-35)[0.2+0.005(40-40)]+0.01(63-15)(19-10) = 9.92 \approx 10$$

Por consiguiente el suelo es A-6(10)

* **Para el suelo 9**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 20%, menor que 35%, por lo que se trata de un material de granular. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-1-b.

El índice de grupo para esta clasificación siempre es 0

Por consiguiente el suelo es A-1-b(0)

* **Para el suelo 10**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 86%, mayor que 35%, por lo que se trata de un material de arcilla limosa. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 vemos que tal suelo cae bajo A-7. Para este caso $PI = 32 > LL - 30$, por lo que es A-7-6. De la ecuación (2.30), tenemos:

$$GI = (F-35)[0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15)(PI-10)$$

Para este suelo, $F = 86$, $LL = 70$ y $PI = 32$, por lo que

$$GI = (86-35)[0.2+0.005(70-40)]+0.01(86-15)(32-10) = 33.47 \approx 33$$

Por consiguiente el suelo es A-7-6(33)

2.15 Clasifique los suelos 1 – 6 dados en el problema 2.14 según el Sistema Unificado de Clasificación. Dé el símbolo de grupos y el nombre de grupo para cada suelo.

Solución:

Suelo No	No. 10	No. 40	No. 200	Índice de Plasticidad
1	98	80	50	38
2	100	92	80	56
3	100	88	65	37
4	85	55	45	28
5	92	75	62	43
6	97	60	30	25
7	100	55	8	–
8	94	80	63	40
9	83	48	20	20
10	100	92	86	70

*** El suelo 1 tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 0%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 50%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 50%
- Límite líquido = 38
- Índice de plasticidad = 9

Se da $F = 50$, $(F \geq 50)$ se trata de un suelo de grano fino.

Entonces vamos a la figura 2.12 para obtener el símbolo de grupo que es un **ML.**

Para obtener el nombre de grupo vemos la figura 2.14 y obtenemos que es un limo arenoso

* **El suelo 2 tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 0%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 20%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 80%
- Límite líquido = 56
- Índice de plasticidad = 33

Se da $F = 80$, $(F \geq 50)$ se trata de un suelo de grano fino.

Entonces vamos a la figura 2.7 y la figura 2.12 para obtener el símbolo de grupo que es un **CH**.

Para obtener el nombre de grupo vemos la figura 2.14 y obtenemos que es una arcilla densa arenosa.

* **El suelo 3 tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 0%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 35%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 65%
- Límite líquido = 37
- Índice de plasticidad = 15

Se da $F = 65$, $(F \geq 50)$ se trata de un suelo de grano fino.

Entonces vamos a la figura 2.12 para obtener el símbolo de grupo que es un **CL**.

Para obtener el nombre de grupo vemos la figura 2.14 y obtenemos que es una arcilla ligera arenosa.

*** El suelo 4 tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 0%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 55%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 45%
- Límite líquido = 28
- Índice de plasticidad = 8

Se da $F = 45$, ($F < 50\%$) por consiguiente se trata de un suelo de grano grueso. Además $F_1 = 55$ por lo que:

$$F_1 = 55 > \frac{100 - F}{2} = \frac{100 - 45}{2} = 27.5$$

Entonces es un suelo arenoso. De la tabla 2.6 y la figura 2.12 vemos que el suelo es un **SC**, de la figura 2.13 el nombre de su grupo es una arena arcillosa con grava.

*** El suelo 5 tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 0%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 38%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 62%
- Límite líquido = 43
- Índice de plasticidad = 15

Se da $F = 62$, ($F \geq 50\%$), por consiguiente se trata de un suelo de grano fino.

De la tabla 2.7 y la figura 2.12 vemos que el suelo es un **ML**, de la figura 2.13 el nombre de su grupo es un limo arenoso.

* **El suelo 6 tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 0%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 70%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 30%
- Limite líquido = 25
- Índice de plasticidad = 9

Si $F = 30$, $(F < 50\%)$ por consiguiente se trata de un suelo de grano grueso. Además $F_1 = 70$, por lo que:

$$F_1 = 70 > \frac{100 - F}{2} = \frac{100 - 30}{2} = 35$$

Entonces es un suelo arenoso. De la tabla 2.6 y la figura 2.12 vemos que el suelo es un **SC**, de la figura 2.13 el nombre de su grupo es una arena arcillosa.

2.16 Clasifique los suelos indicados en la tabla usando el Sistema de Clasificación AASHTO. Dé también los índices de grupo.

Suelo	Análisis por cribado; Porcentaje que pasa			Limite liquido	Índice de plasticidad
	No. 10	No. 40	No. 200		
A	48	28	6	–	NP
B	87	62	30	32	8
C	90	76	34	37	12
D	100	78	8	–	NP
E	92	74	32	44	9

Solución:

* **Para el suelo A**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 6%, menor que 35%, por lo que se trata de un material de granular. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-1-a.

El índice de grupo para esta clasificación siempre es 0
Por consiguiente el suelo es A-1-a(0)

* **Para el suelo B**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 30%, menor que 35%, por lo que se trata de un material de granular. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-2-4.

El índice de grupo para esta clasificación siempre es 0
Por consiguiente el suelo es A-2-4(0)

* **Para el suelo C**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 34%, menor que 35%, por lo que se trata de un material de granular. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-2-6.

$GI = 0.01(F-15)(PI-10)$

Ahora $F = 34$ y $PI = 12$, por lo que

$GI = 0.01(34-15)(12-10) = 0.38 \approx 0$

Por consiguiente el suelo es A-2-6(0)

* **Para el suelo D**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 8%, menor que 35%, por lo que se trata de un material de granular. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-3.

El índice de grupo para esta clasificación siempre es 0

Por consiguiente el suelo es A-3(0)

* **Para el suelo E**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 32%, menor que 35%, por lo que se trata de un material de granular. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-2-5.

El índice de grupo para esta clasificación siempre es 0

Por consiguiente el suelo es A-2-5(0)

2.17 Clasifique los siguientes suelos usando el Sistema Unificado de Clasificación. Dé el símbolo de grupo y el nombre de grupo para cada suelo.

Tamaño De malla	**Porcentaje que pasa**				
	A	B	C	D	E
No. 4	94	98	100	100	100
No. 10	63	86	100	100	100
No. 20	21	50	98	100	100
No. 40	10	28	93	99	94
No. 60	7	18	88	95	82
No. 100	5	14	83	90	66
No. 200	3	10	77	86	45
0.01 mm	–	–	65	42	26
0.002 mm	–	–	60	47	21
Límite líquido	–	–	63	55	36
Índice de plasticidad	NP	NP	25	28	22

<u>**Solución:**</u>

* **El suelo A tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 6%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 91%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 3%
- Límite líquido = 0
- Índice de plasticidad = 0

Si $F = 3$, ($F < 50\%$) por consiguiente se trata de un suelo de grano grueso. Además $F_1 = 91$ por lo que:

$$F_1 = 91 > \frac{100 - F}{2} = \frac{100 - 3}{2} = 48.5$$

Entonces es un suelo arenoso. De la tabla 2.6 y la figura 2.12 vemos que el suelo es un **SP**, de la figura 2.13 el nombre de su grupo es una arena mal graduada.

* **El suelo B tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 2%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 88%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 10%
- Límite líquido = 0
- Índice de plasticidad = 0

Si $F = 2$, ($F < 50\%$) por consiguiente se trata de un suelo de grano grueso. Además $F_1 = 88$ por lo que:

$$F_1 = 88 > \frac{100 - F}{2} = \frac{100 - 10}{2} = 45$$

Entonces es un suelo arenoso. De la tabla 2.6 y la figura 2.12 vemos que el suelo es un **SW-SM**, de la figura 2.13 el nombre de su grupo es una arena bien graduada con limo.

* **El suelo C tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 0%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 23%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 77%
- Límite líquido = 63
- Índice de plasticidad = 25

Se da $F = 77$, ($F \geq 50\%$), por consiguiente se trata de un suelo de grano fino

De la tabla 2.7 y la figura 2.12 vemos que el suelo es un **MH**, de la figura 2.14 el nombre de su grupo es un limo elástico arenoso.

* **El suelo D tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 0%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 14%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 86%
- Límite líquido = 55
- Índice de plasticidad = 28

Se da $F = 86$, ($F \geq 50\%$), por consiguiente se trata de un suelo de grano fino

Entonces es un suelo arenoso. De la tabla 2.7 y la figura 2.12 vemos que el suelo es un **CH**, de la figura 2.14 el nombre de su grupo es una arcilla gruesa.

*** El suelo E tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 0%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 55%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 45%
- Límite líquido = 36
- Índice de plasticidad = 22

Si $F = 45$, $(F < 50\%)$ por consiguiente se trata de un suelo de grano grueso. Además $F_1 = 55$, por lo que:

$$F_1 = 55 > \frac{100 - F}{2} = \frac{100 - 45}{2} = 27.5$$

Entonces es un suelo arenoso. De la tabla 2.6 y la figura 2.12 vemos que el suelo es un **SC**, de la figura 2.13 el nombre de su grupo es una arena arcillosa.

2.18 Clasifique los suelos dados en el problema 2.17 según el Sistema de Clasificación AASHTO. Dé los índices de grupo.

Solución:

* **Para el suelo A**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 3%, menor que 35%, por lo que se trata de un material de granular. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-1-b.

El índice de grupo para esta clasificación siempre es 0

Por consiguiente el suelo es A-1-b(0)

*** Para el suelo B**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 10%, menor que 35%, por lo que se trata de un material de granular. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 encontramos A-1-b.

El índice de grupo para esta clasificación siempre es 0

Por consiguiente el suelo es A-1-b(0)

*** Para el suelo C**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 77%, mayor que 35%, por lo que se trata de un material de arcilla limosa. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 vemos que tal suelo cae bajo A-7. Para este caso $PI = 25 > LL - 30$, por lo que es A-7-5. De la ecuación (2.30), tenemos:

$$GI = (F - 35)\left[0.2 + 0.005(LL - 40)\right] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Para este suelo, $F = 77$, $LL = 63$ y $PI = 25$, por lo que

$$GI = (77 - 35)\left[0.2 + 0.005(63 - 40)\right] + 0.01(77 - 15)(25 - 10) = 22.53 \approx 23$$

Por consiguiente el suelo es A-7-5(23)

*** Para el suelo D**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 86%, mayor que 35%, por lo que se trata de un material de arcilla limosa. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 vemos que tal suelo cae bajo A-7. Para este caso $PI = 28 > LL - 30$, por lo que es A-7-6. De la ecuación (2.30), tenemos:

$$GI = (F - 35)\left[0.2 + 0.005(LL - 40)\right] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Para este suelo, $F = 86$, $LL = 55$ y $PI = 28$, por lo que

$$GI = (86 - 35)\left[0.2 + 0.005(55 - 40)\right] + 0.01(86 - 15)(28 - 10) = 26.81 \approx 27$$

Por consiguiente el suelo es A-7-6(27)

* **Para el suelo E**, el porcentaje que pasa la malla No. 200 es 45%, mayor que 35%, por lo que se trata de un material de arcilla limosa. Procediendo de izquierda a derecha en la tabla 2.4 vemos que tal suelo cae bajo A-6. De la ecuación (2.30), tenemos:

$$GI = (F-35)\left[0.2+0.005(LL-40)\right]+0.01(F-15)(PI-10)$$

Para este suelo, $F = 45$, $LL = 36$ y $PI = 22$, por lo que

$$GI = (45-35)\left[0.2+0.005(36-40)\right]+0.01(45-15)(22-10) = 5.4 \approx 5$$

Por consiguiente el suelo es A-6(5)

2.19 Clasifique los suelos dados en la tabla de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación. Dé el símbolo de grupo y el nombre de grupo para cada suelo.

	Análisis por cribado; Porcentaje que pasa			
Suelo	**No. 4**	**No. 200**	**Limite liquido**	**Índice de plasticidad**
A	92	48	30	8
B	60	40	26	4
C	99	76	60	32
D	90	60	41	12
E	80	35	24	2

<u>**Solución:**</u>

* **El suelo A tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 8%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 44%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 48%
- Límite líquido = 30
- Índice de plasticidad = 28

Si $F = 48$, $(F < 50\%)$ por consiguiente se trata de un suelo de grano grueso. Además $F_1 = 44$, por lo que:

$$F_1 = 44 > \frac{100 - F}{2} = \frac{100 - 48}{2} = 26$$

Entonces es un suelo arenoso. De la tabla 2.6 y la figura 2.12 vemos que el suelo es un **SC**, de la figura 2.13 el nombre de su grupo es una arena arcillosa.

* **El suelo B tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 40%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 20%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 40%
- Límite líquido = 26
- Índice de plasticidad = 4

De la tabla 2.5 y la figura 2.12 obtenemos que el suelo es un **GM-GC**, de la figura 2.13 el nombre de su grupo es una grava arcillosa limosa con arena.

* **El suelo C tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 1%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 23%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 76%
- Límite líquido = 60
- Índice de plasticidad = 32

Se da $F = 76$, $(F \geq 50)$ se trata de un suelo de grano fino.

Entonces vamos a la tabla 2.7 y la figura 2.12 para obtener el símbolo de grupo que es un **CH**.
Para obtener el nombre de grupo vemos la figura 2.14 y obtenemos que es una arcilla densa arenosa.

* **El suelo D tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 10%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 30%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 60%
- Límite líquido = 41
- Índice de plasticidad = 12

Se da $F = 60$, $(F \geq 50)$ se trata de un suelo de grano fino.
Entonces vamos a la figura 2.12 para obtener el símbolo de grupo que es un **ML**.
Para obtener el nombre de grupo vemos la figura 2.14 y obtenemos que es un limo arenoso

* **El suelo E tiene los siguientes valores:**

- Fracción de grava (retenida en la malla No. 4) = 20%
- Fracción de arena (para la malla No.4 pero es retenida en la malla No. 200) = 45%
- Limo y arcilla (pasa la malla No. 200) = 33%
- Límite líquido = 24
- Índice de plasticidad = 2

Si $F = 33$, $(F < 50\%)$ por consiguiente se trata de un suelo de grano grueso. Además $F_1 = 45$, por lo que:

$$F_1 = 45 > \frac{100 - F}{2} = \frac{100 - 33}{2} = 33.5$$

Entonces es un suelo arenoso. De la tabla 2.6 y la figura 2.12 vemos que el suelo es un **SM**, de la figura 2.13 el nombre de su grupo es una arena limosa con grava.

Tabla 2.4 Clasificación de materiales para subrasantes de carreteras.

Clasificación general	**Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)**						
	A-1			*A-2*			
Clasificación de grupo	*A-1-a*	*A-1-b*	*A-3*	*A-2-4*	*A-2-5*	*A-2-6*	*A-2-7*
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes	De excelente a bueno						

Clasificación general	**Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)**			
Clasificación de grupo	*A-4*	*A-5*	*A-6*	*A-7* *A-7-5** *A-7-6*†
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Tasa general de los sobrantes	De mediano a pobre			

*Para *A-7-5*, $PI \leq LL - 30$
†Para *A-7-6*, $PI > LL - 30$

Tabla 2.5 Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos tipo grava.

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para GW
GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea *A* (figura 2.12) o el índice de plasticidad menor que 4
GC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea *A* (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
GC-GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC

Tabla 2.6 Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos.

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea *A* (figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea *A* (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Tabla 2.7 Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; se grafica sobre o arriba de la línea *A* (véase zona CL en la figura 2.12)
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $PI < 4$; o se grafica debajo de la línea *A* (véase la zona ML en la figura 2.12)
OL	Orgánico; LL − seco en horno) / (LL − sin secar) ; < 0.75; $LL < 50$ (véase zona OL en la figura 2.12)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica sobre o arriba de la línea *A* (véase la zona CH en la figura 2.12)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica debajo de la línea *A* (véase la zona MH en la figura 2.12)
OH	Orgánico; LL − seco en horno) / (LL − sin secar) ; < 0.75; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la figura 2.12)
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura 2.12
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

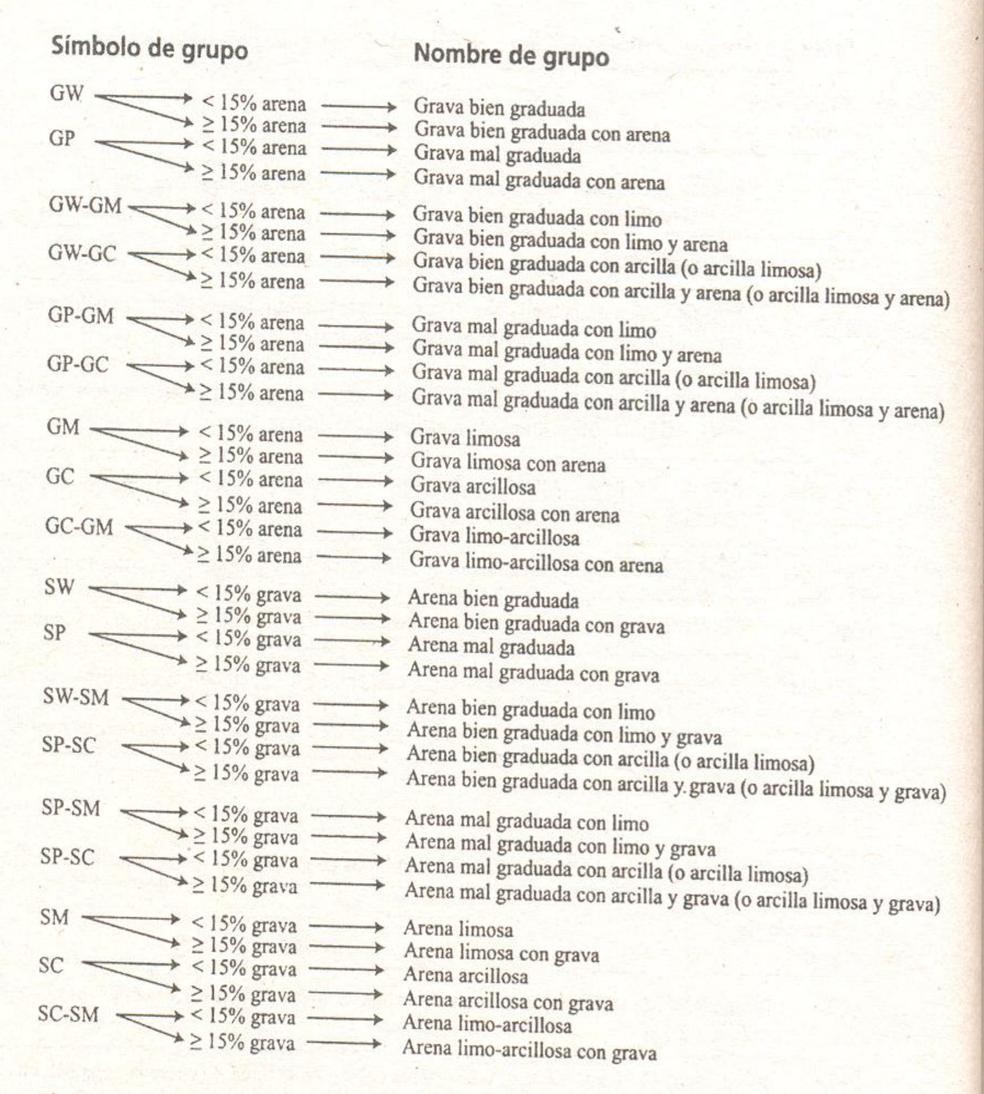


Figura 2.13 Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos tipo grava y arenosos (según ASTM, 1998).

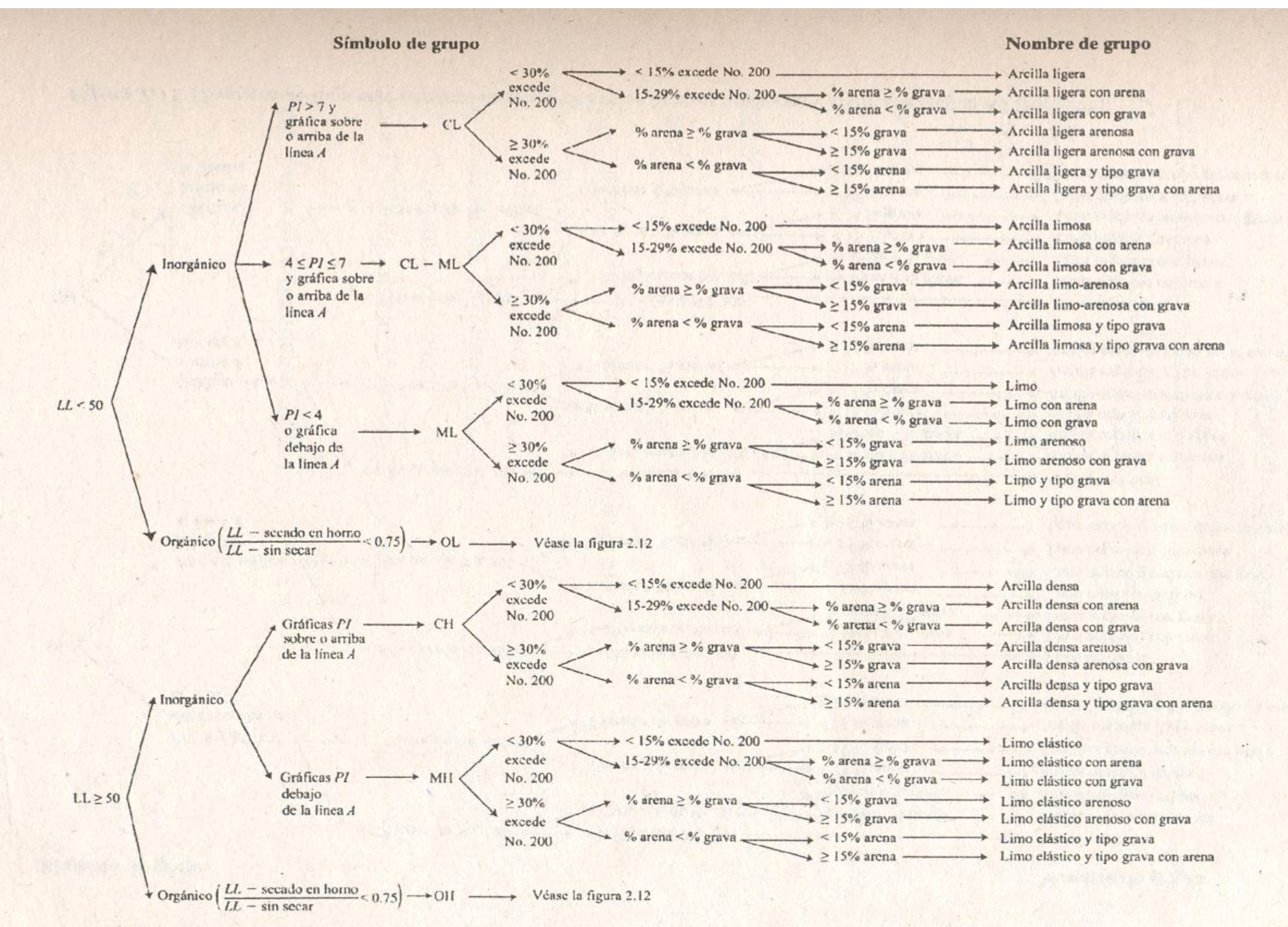


Figura 2.14 Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos limosos, inorgánicos y arcillosos (según ASTM, 1998).

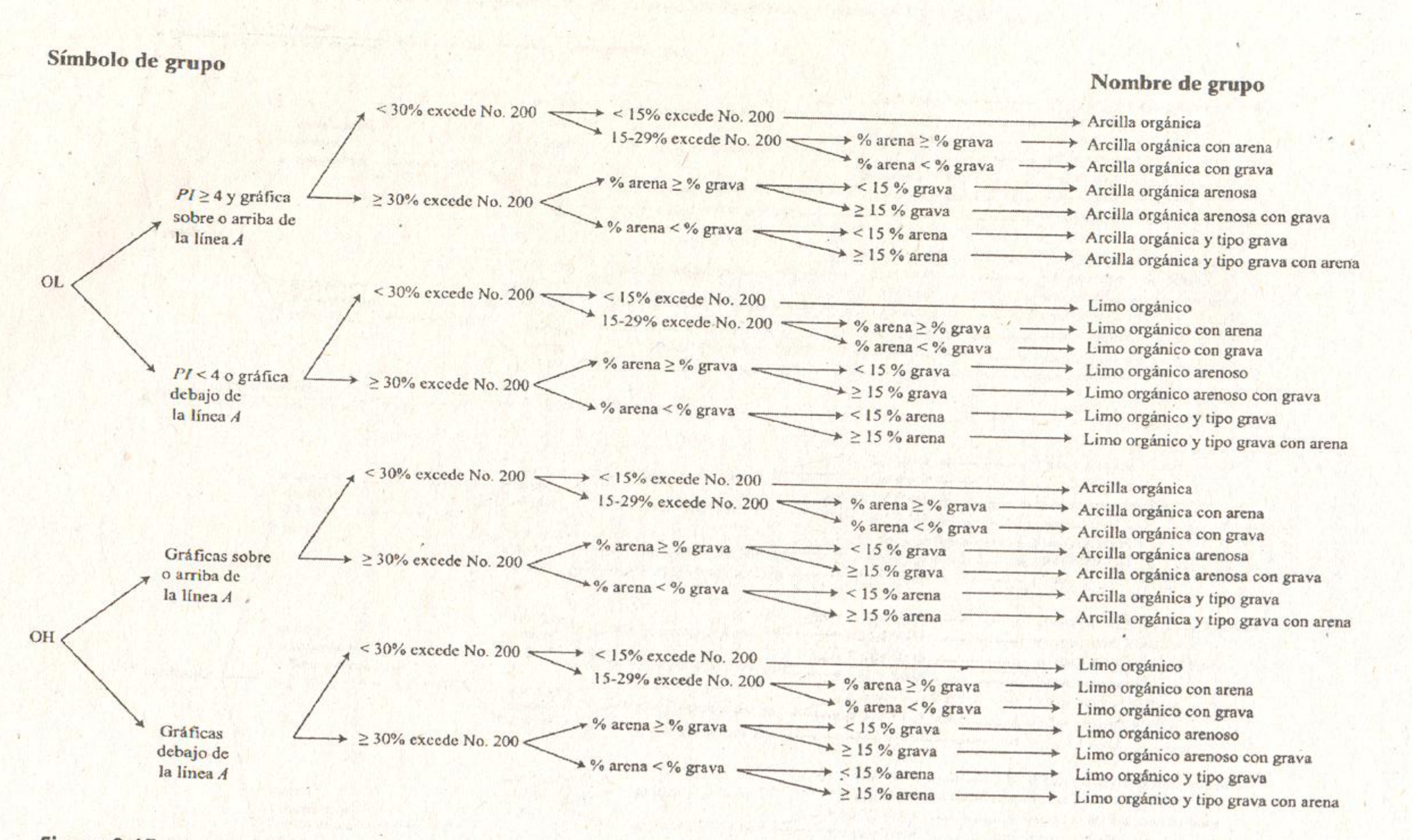


Figura 2.15 Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos limosos orgánicos y arcillosos (según ASTM, 1998).

CAPÍTULO 3

Compactación de Suelos

3.1 Calcule el peso específico (en kN/m^3) con cero vacíos de aire para un suelo con $G_s = 2.68$ y contenidos de agua $w = 5\%$, 8%, 10%, 12% y 15%.

Solución:

Datos:

$e = 0$

$V_V = 0$

$G_s = 2.68$

Donde:

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$$

γ_{zav} = peso específico con cero vacíos de aire

γ_w = peso específico del agua

e = relación de vacios

G_s = densidad de sólidos del suelo

w = contenido de agua

Para 100% de saturación, $e = wG_s$, por lo que

Peso Específico (ecuación 3.3):

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{w + \frac{1}{G_s}}$$

1) Para w = 5%

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.05 + \frac{1}{2.68}} = \frac{9.81}{0.423}$$

$$\gamma_{zav} = 23.2\ kN/m^3$$

2) Para w = 8%

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.08 + \frac{1}{2.68}} = \frac{9.81}{0.453}$$

$$\gamma_{zav} = 21.7\ kN/m^3$$

3) Para w = 10 %

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.1 + \frac{1}{2.68}} = \frac{9.81}{0.473}$$

$$\gamma_{zav} = 20.7\ kN/m^3$$

4) Para w = 12 %

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.12 + \frac{1}{2.68}} = \frac{9.81}{0.473}$$

$$\gamma_{zav} = 19.9\ kN/m^3$$

5) Para w = 15 %

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.15 + \frac{1}{2.68}} = \frac{9.81}{0.523}$$

$$\gamma_{zav} = 18.8\ kN/m^3$$

Hacemos una tabla de resumen:

w %	$\gamma_{zav} (kN/m^3)$
5	23.2
8	21.7
10	20.7
12	19.9
15	18.8

3.2 Para un suelo ligeramente orgánico, $G_s = 2.54$, calcule y grafique la variación de γ_{zav} (en kN/m^3) *versus* w (en porcentaje) con w variando entre 5% y 20%.

Solución:

De la ecuación 3.3 se tiene:

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{w + \frac{1}{G_s}}$$

1) **Para w = 5%**

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.05 + \frac{1}{2.54}}$$

$$\gamma_{zav} = 22.1\ kN/m^3$$

2) **Para w = 8%**

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.08 + \frac{1}{2.54}}$$

$$\gamma_{zav} = 20.7\ kN/m^3$$

3) Para w = 10 %

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.1 + \frac{1}{2.54}}$$

$$\gamma_{zav} = 19.9\ kN/m^3$$

4) Para w = 12%

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.12 + \frac{1}{2.54}}$$

$$\gamma_{zav} = 19.1\ kN/m^3$$

5) Para w = 15 %

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.15 + \frac{1}{2.54}}$$

$$\gamma_{zav} = 18.0\ kN/m^3$$

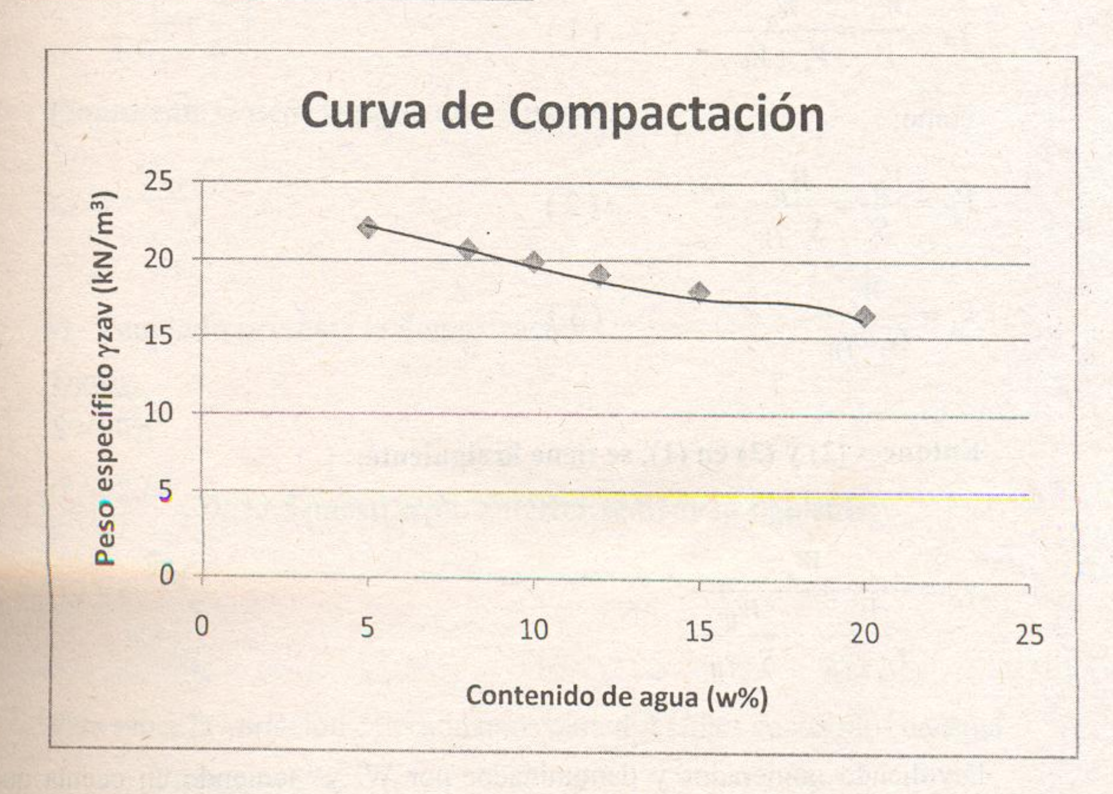
6) Para w = 20 %

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.20 + \frac{1}{2.54}}$$

$$\gamma_{zav} = 16.5\ kN/m^3$$

Hacemos una tabla de resumen:

w %	$\gamma_{zav}(kN/m^3)$
5	22.1
8	20.7
10	19.9
12	19.1
15	18.0
20	16.5



Como se puede observar es un suelo que no tiene un pico definido y se designa como tipo raro, estos suelos que producen esta curva no son muy comunes.

3.3 **a**. Obtenga una ecuación para el peso específico seco teórico para diferentes grados de saturación, S (es decir, γ_d como función de G_s, γ_w, S y w), para un suelo.

b. Para un suelo compactado, dado $G_s = 2.6$, calcule la variación teórica de γ_d con w para una saturación del 90%

Solución:

a) Se sabe que :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{V_s + V_V} \qquad \text{... (1)}$$

como:

$$V_V = \frac{V_W}{S} = \frac{W_W}{S \cdot \gamma_W} \qquad \text{... (2)}$$

$$V_s = \frac{W_s}{G_s \cdot \gamma_W} \qquad \text{... (3)}$$

Entonces (2) y (3) en (1), se tiene lo siguiente:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{\dfrac{W_s}{G_s \cdot \gamma_W} + \dfrac{W_W}{S \cdot \gamma_W}}$$

Dividiendo numerador y denominador por W_s y teniendo en cuenta que la humedad viene dada por:

$$w = \frac{W_W}{W_s}$$

$$\gamma_d = \frac{1}{\dfrac{1}{G_s\gamma_W} + \dfrac{W_W}{W_S} \times \dfrac{1}{S\gamma_w}}$$

$$\gamma_d = \frac{1}{\dfrac{1}{G_s\gamma_W} + \dfrac{w}{S\gamma_W}}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_W}{\left(\dfrac{1}{G_s} + \dfrac{w}{S}\right)} \times \frac{S}{S}$$

Finalmente se tiene la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{S\gamma_W}{w + \dfrac{S}{G_s}}$$

b) Teniendo presente la demostración :

Datos:

$S = 90\%$

$G_s = 2.68$ **, De la demostración anterior se tiene lo siguiente:**

$$\gamma_d = \frac{S\gamma_W}{w + \dfrac{S}{G_s}}$$

Para saber la variación determinamos para diferentes contenidos de agua:

- **Para w = 5%**

$$\gamma_d = \frac{0.9 \times 9.81}{0.05 + \dfrac{0.9}{2.6}}$$

$$\gamma_d = 22.3 kN/m^3$$

- **Para w = 10%**

$$\gamma_d = \frac{0.9 \times 9.81}{0.10 + \frac{0.9}{2.6}}$$

$$\gamma_d = 19.8 kN/m^3$$

- **Para w = 15%**

$$\gamma_d = \frac{0.9 \times 9.81}{0.15 + \frac{0.9}{2.6}}$$

$$\gamma_d = 17.8 kN/m^3$$

- **Para w = 20%**

$$\gamma_d = \frac{0.9 \times 9.81}{0.20 + \frac{0.9}{2.6}}$$

$$\gamma_d = 16.2 kN/m^3$$

Hacemos una tabla de resumen que nos indica la variación teórica para diferentes contenidos de agua:

w %	$\gamma_{z\ prom}(kN/m^3)$
5	22.3
10	19.8
15	17.8
20	16.2

3.4 Para un suelo compactado, dado $G_s = 2.72$, $w = 18\%$ y $\gamma_d = 0.9\gamma_{zav}$, determine el peso específico seco del suelo compactado.

Solución:

Datos:

$w = 18\%$

$\gamma_d = 0.9\gamma_{zav}$ ....(1)

$G_s = 2.72$

Se tiene que:

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{w + \frac{1}{G_s}} \text{ ....(2)}$$

$$\gamma_{zav} = \frac{9.81}{0.18 + \frac{1}{2.72}}$$

$$\gamma_{zav} = 17.9\, kN/m^3$$

De (1) se tiene la siguiente relación:

$$\gamma_d = 0.9 \times \gamma_{zav}$$

$$\gamma_d = 0.9 \times 17.9$$

$$\gamma_d = 16.1\, kN/m^3$$

3.5 Los resultados de una prueba Proctor estándar se dan en la siguiente tabla. Determine el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo. Determine también el contenido de agua requerido para lograr el 95% de $\gamma_{d(\text{máx})}$.

Volumen del Molde Proctor (cm^3)	Peso del Suelo húmedo En el molde (kg)	Contenido De agua, *w* (%)
943.3	1.65	10
943.3	1.75	12
943.3	1.83	14
943.3	1.81	16
943.3	1.76	18
943.3	1.70	20

Solución:

Hacemos una tabla teniendo en cuenta las siguientes relaciones para las columnas dadas:

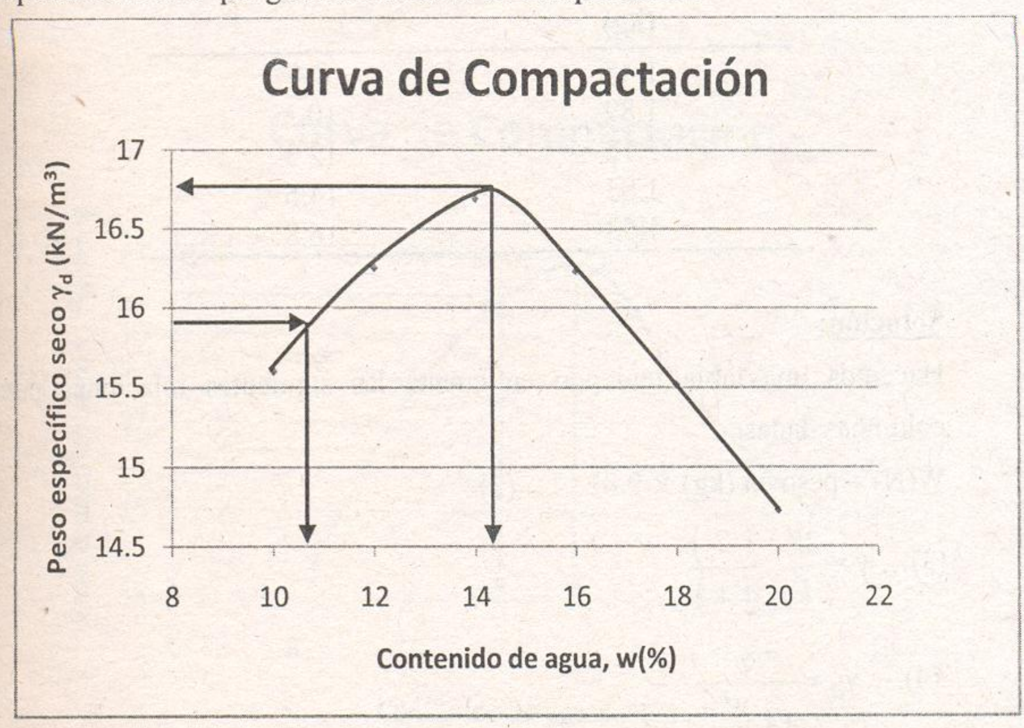
W (N) = peso en (kg) × 9.81 … (2)

(3)… $\gamma = \frac{W}{V} \ldots \frac{(2)}{(1)}$

(4)… $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w\%}{100}}$

Volumen del Molde Proctor (cm^3)	Peso del Suelo húmedo en el molde (N)	Peso específico Húmedo $\gamma (kN/m^3)$	Contenido De agua, w (%)	Peso específico seco (γ_d) kN/m^3
(1)	(2)	(3)		(4)
943.3	16.19	17.16	10	15.60
943.3	17.17	18.20	12	16.25
943.3	17.95	19.03	14	16.69
943.3	17.76	18.83	16	16.23
943.3	17.27	18.31	18	15.52
943.3	16.68	17.68	20	14.73

Para poder determinar el peso específico máximo de compactación y el contenido de agua óptimo tenemos que graficar la curva de compactación:



De la gráfica se puede determinar que el peso específico máximo es 16.8 kN/m^{3}y el óptimo contenido de agua es 14.4%

Para poder determinar el contenido de agua requerido para lograr el 95% de peso específico máximo hallamos el valor:

$95\%\gamma_{d\max} = 0.95 \times 16.75 = 15.91 kN/m^3$

Con este valor nos dirigimos a la gráfica y determinamos que el contenido de agua es de 10.8%.

3.6 Resuelva el problema 3.5 con los siguientes valores:

Peso del suelo húmedo en el molde Proctor estándar (kg)	**Contenido de agua (%)**
1.48	8.4
1.89	10.2
2.12	12.3
1.83	14.6
1.53	16.8

Solución:

Hacemos una tabla teniendo en cuenta las siguientes relaciones para las columnas dadas:

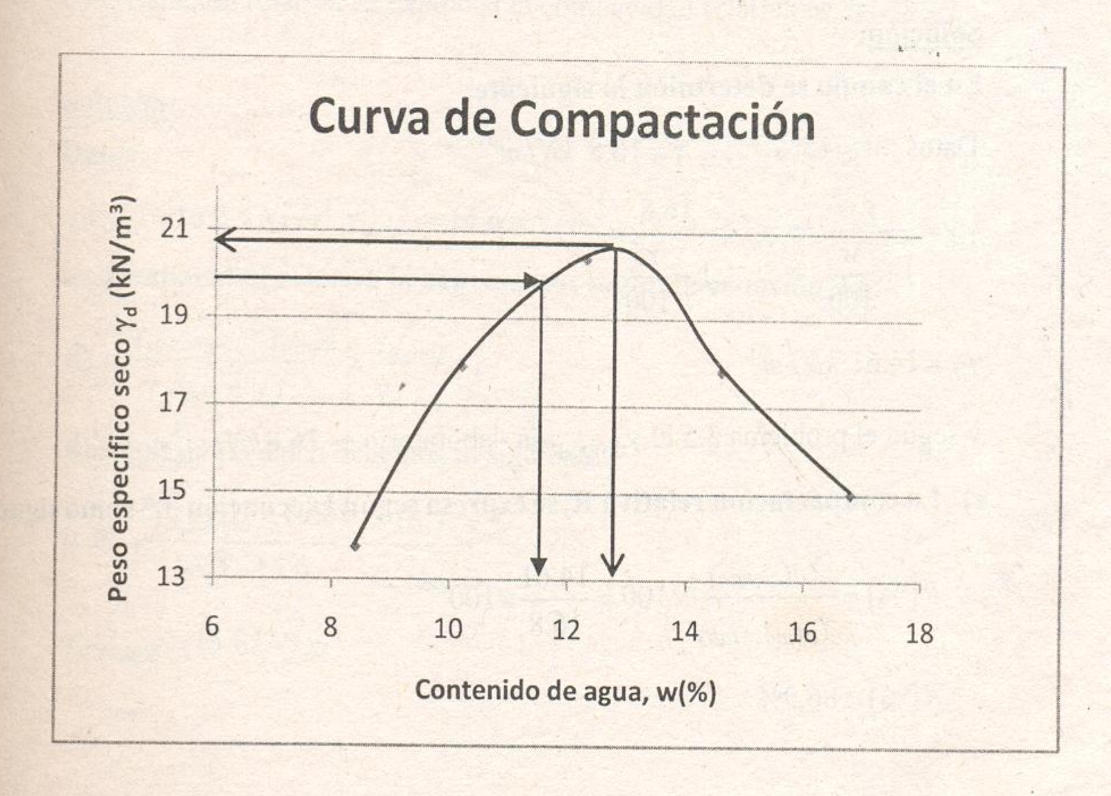
W(N) = peso en (kg) × 9.81 … (2)

$(3)\ldots\ \gamma = \frac{W}{V} \ldots \frac{(2)}{(1)}$

$(4)\ldots\ \gamma_d = \frac{\gamma}{1+\frac{w\%}{100}}$

Volumen del Molde Proctor (cm³)	Peso del Suelo húmedo en el molde (N)	Peso específico Húmedo γ(kN/m³)	Contenido De agua, *w* (%)	Peso específico seco (γ_d) kN/m³
(1)	(2)	(3)		(4)
943.3	14.52	15.39	8.4	13.75
943.3	18.54	19.65	10.2	17.90
943.3	20.80	22.05	12.3	20.39
943.3	17.95	19.03	14.6	17.81
943.3	15.01	15.91	16.8	15.02

Para poder determinar el peso específico máximo de compactación y el contenido de agua óptimo tenemos que graficar la curva de compactación:



De la gráfica se puede determinar que el peso específico máximo es 20.8 kN/m^{3}y el óptimo contenido de agua es 12.8%

Para poder determinar el contenido de agua requerido para lograr el 95% de peso específico máximo hallamos el valor:

$$95\%\gamma_{d\max} = 0.95\times 20.8 = 19.76\,kN/m^3$$

Con este valor nos dirigimos a la gráfica y determinamos que el contenido de agua es de 11.6%.

3.7 Una prueba para la determinación del peso específico de campo para el suelo descrito en el problema 3.5 dio los siguientes datos: contenido de agua = 15% y peso específico húmedo = 16.8 kN/m^3.

a. Determine la compactación relativa.

b. Si G_s es de 2.68, ¿cuál fue el grado de saturación en el campo?

Solución:

En el campo se determina lo siguiente:

Datos : $w = 15\%$, $\gamma = 16.8\ kN/m^3$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+\dfrac{w}{100}} \Rightarrow \gamma_d = \frac{16.8}{1+\dfrac{15}{100}}$$

$$\gamma_d = 14.61\ kN/m^3$$

y según el problema 3.5 el $\gamma_{d(máx)}$ en laboratorio es $16.8\,kN/m^3$

a) La compactación relativa R, se expresa según la ecuación 3.5 como sigue:

$$R(\%) = \frac{\gamma_{d(campo)}}{\gamma_{d(máx-lab)}}\times 100 = \frac{14.61}{16.8}\times 100$$

$$R(\%) = 86.9\%$$

b) Se tiene la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+e}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$14.6 = \frac{2.68 \times 9.81}{1+e} \Rightarrow e = 0.8$$

Para este suelo se tiene:

$$S \times e = w \times G_s$$

Reemplazando valores :

$$S = \frac{0.15 \times 2.68}{0.8}$$

$$S = 50.3\%$$

3.8 Los pesos específicos secos máximo y mínimo de una arena obtenidos en laboratorio fueron de 16.3 kN/m^3 y 14.6kN/m^3, respectivamente. ¿Cuál será la compactación relativa en campo si la compacidad relativa es del 78%?

Solución:

Datos:

$$\gamma_{d\ máx} = 16.3\ kN/m^3, \gamma_{d\ min} = 14.6\ kN/m^3\ y\ C_r = 78\%$$

La compacidad relativa lo expresamos según la ecuación 3.6:

$$C_r = \frac{\gamma_{d\ campo} - \gamma_{d\ min}}{\gamma_{d\ máx} - \gamma_{d\ min}} \times \frac{\gamma_{d\ máx}}{\gamma_{d\ nat}}$$

Reemplazando datos tenemos lo siguiente:

$$0.78 = \frac{\gamma_{d\ campo} - 14.6}{16.3 - 14.6} \times \frac{16.3}{\gamma_{d\ campo}}$$

$$\gamma_{d\ campo} = 15.8 kN/m^3$$

La compacidad relativa R, se expresa como (ecuación 3.5):

$$R\% = \frac{\gamma_{d\ campo}}{\gamma_{d\ (máx-lab)}} \times 100 = \frac{15.8}{16.3} \times 100$$

$$R\% = 96.9\%$$

3.9 Los pesos específicos secos máximo y mínimo de una arena obtenidos en laboratorio fueron de 16.5 kN/m³ y 14.5 kN/m³, respectivamente. En el campo, si la compacidad relativa de compactación de la misma arena es de 70%, ¿Cuáles son su compactación relativa y peso específico seco?

Solución:

Datos:

$\gamma_{d\ máx} = 16.5\ kN/m^3, \gamma_{d\ min} = 14.5\ kN/m^3\ y\ C_r = 70\%$:

La compacidad relativa lo expresamos según la ecuación 3.6:

$$C_r = \frac{\gamma_{d\ nat} - \gamma_{d\ min}}{\gamma_{d\ máx} - \gamma_{d\ min}} \times \frac{\gamma_{d\ máx}}{\gamma_{d\ nat}}$$

Reemplazando los datos tenemos lo siguiente:

$$0.7 = \frac{\gamma_{d\ nat} - 14.5}{16.5 - 14.5} \times \frac{16.5}{\gamma_{d\ nat}} \Rightarrow 0.0848\ \gamma_{d\ nat} = \gamma_{d\ nat} - 14.5$$

$$\gamma_{d\ nat} = 15.8\ kN/m^3 \ \text{y} \ \ \gamma_{d\ nat} = \gamma_{d\ campo}$$

$$\gamma_{d\ campo} = 15.8\ kN/m^3$$

La compactación relativa R%, se expresa como sigue (ecuación3.5):

$$R\% = \frac{\gamma_{d\ campo}}{\gamma_{d\ (máx-lab)}} \times 100 = \frac{15.8}{16.5} \times 100$$

$$R\% = 95.8\%$$

3.10 La compactación relativa de una arena en el campo es de 94%. Los pesos específicos secos máximo y mínimo de la arena son de 16.2 kN/m^3 y 14.9 kN/m^3, respectivamente. Para la condición de campo, determine:

a. Peso específico seco

b. Compacidad relativa de compactación

c. Peso específico húmedo bajo un contenido de agua de 8%

Solución:

a) Peso específico seco en campo:

$$R\% = 94\%, \gamma_{d\ máx} = 16.2\ kN/m^3 \ \text{y}\ \gamma_{d\ min} = 14.9\ kN/m^3$$

$$R(\%) = \frac{\gamma_{d\ campo}}{\gamma_{d\ máx-lab}} \times 100$$

$$0.94 = \frac{\gamma_{d\ campo}}{16.2}$$

$$\gamma_{d\ campo} = 15.23\ kN/m^3$$

b) Se tiene la siguiente expresión para la Compacidad relativa según la ecuación 3.6:

$$C_r = \frac{\gamma_{d\ nat} - \gamma_{d\ min}}{\gamma_{d\ máx} - \gamma_{d\ min}} \times \frac{\gamma_{d\ máx}}{\gamma_{d\ nat}}$$

Reemplazando los datos tenemos lo siguiente:

$$\gamma_{d\ nat} = \gamma_{d\ campo}$$

$$C_r = \frac{15.23 - 14.90}{16.20 - 14.90} \times \frac{16.20}{15.23}$$

$$C_r = 27\%$$

c) Para determinar el peso específico húmedo usamos la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{hum}}{1+\frac{w}{100}}$$

El contenido de agua es 8%

$$15.23 = \frac{\gamma_{hum}}{1+\frac{8}{100}}$$

$$\gamma_{hum} = 16.45 \ kN/m^3$$

3.11 En la siguiente tabla se dan los resultados de pruebas de compactación en laboratorio en un limo arcilloso.

Contenido De agua (%)	Peso específico Seco (kN/m^3)
6	14.80
8	17.45
9	18.52
11	18.9
12	18.5
14	16.9

A continuación se dan los resultados de una prueba para la determinación del peso específico de campo sobre el mismo suelo con el método del cono de arena:

- Densidad seca calibrada de arena Ottawa = 1570 kg/m^3
- Masa calibrada de arena Ottawa para llenar el cono = 0.545 kg
- Masa de recipiente + cono + arena (antes de usarse) = 7.59 kg
- Masa de recipiente + cono + arena (después de usarse) = 4.78 kg
- Masa de suelo húmedo del agujero = 3.007 kg
- Contenido de agua del suelo húmedo = 10.2%

Determine:

a. Peso específico seco de compactación en campo

b. Compactación relativa en campo

Solución:

La masa de la arena usada para llenar el agujero y cono es:
Masa de recipiente + cono + arena (antes de usarse) – Masa de recipiente + cono + arena (después de usarse):

$$7.59 - 4.78 = 2.81 \text{ kg} \quad \ldots (1)$$

La masa de la arena usada para llenar el agujero es:
(1) - masa calibrada de arena Ottawa para llenar el cono:

$$2.81 - 0.545 = 2.265 \text{ kg} \quad \ldots (2)$$

Por consiguiente, el volumen del agujero es:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \frac{(2)}{(\rho)}$$

$$V = \frac{2.265}{1.570}$$

$$V = 1.44 \times 10^{-3} m^3$$

De la ecuación (3.10), el peso seco del suelo del campo es:

$$W_3 = \frac{W_2}{1 + \frac{w(\%)}{100}} = \frac{3.007 \times 9.81 \times 10^{-3}}{1 + \frac{10.2}{100}}$$

$$W_3 = 26.77 \times 10^{-3} \ kN$$

Por lo tanto, el peso específico seco de compactación en el campo es:

$$\gamma_d = \frac{W_3}{V} = \frac{26.77 \times 10^{-3}}{1.44 \times 10^{-3}}$$

$$\gamma_d = 18.6 \ kN/m^3$$

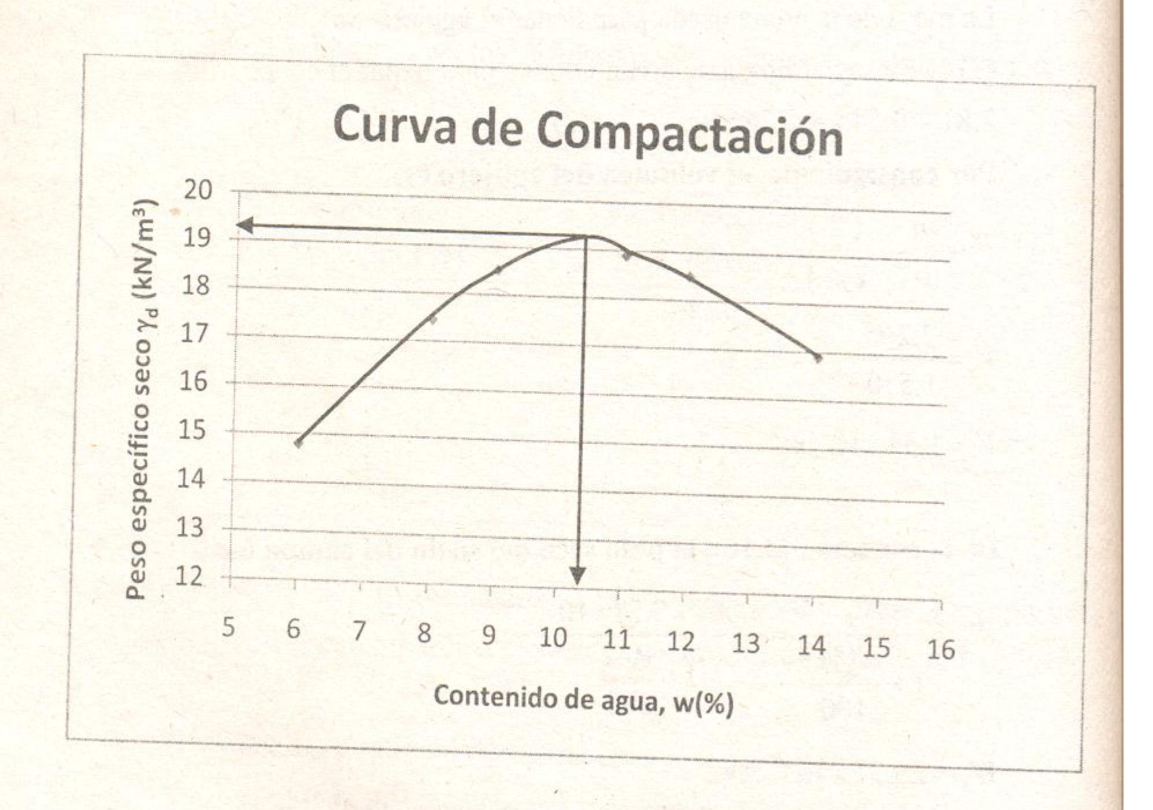
De la grafica de compactación se puede determinar que:

$$\gamma_{d\ máx} = 19.1 kN/m^3$$

Reemplazando datos tenemos :

$$R\% = \frac{\gamma_{d\ campo}}{\gamma_{d\ máx-lab}} = \frac{18.6}{19.1}$$

$$R\% = 97.4\%$$



CAPÍTULO 4

Movimiento del agua a través de suelos.

Permeabilidad e infiltración

4.1 Refiérase a la figura 4.20. Encuentre la tasa de flujo en $m^3/s/m$ de longitud (perpendicular a la sección transversal mostrada) a través del estrato de suelo permeable con $H = 4$ m, $H_1 = 2$ m, $h = 3.1$ m, $L = 30$ m, $\alpha = 14°$ y $k = 0.05$ cm/s.

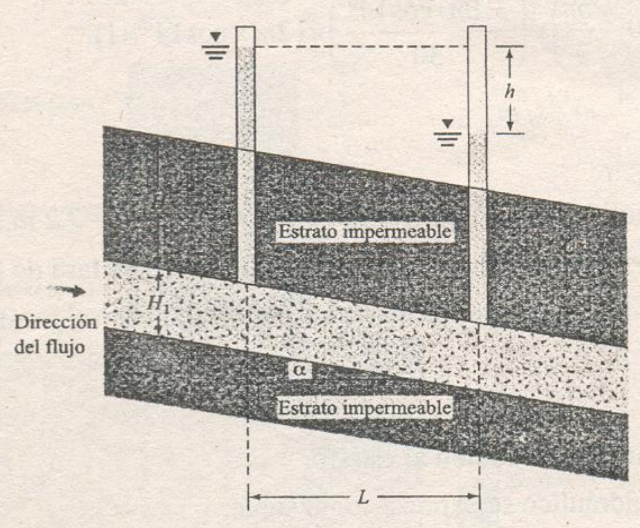


FIGURA 4.20

Solución:

Datos:

$k = 0.05 cm/s$

$h = 3.1 m$

$\alpha = 14°$

$H_1 = 2m$

Tomamos 1 m de penetración al estrato.

El gradiente hidráulico se expresa como sigue:

$$i = \frac{h}{\frac{L}{\cos\alpha}}$$

De la ecuación (4.13) y (4.14), tenemos:

$$q = k \times i \times A$$

$$q = k \times \frac{h\cos\alpha}{L} \times \left(H_1 \cos\alpha \times 1\right)$$

$$q = \left(0.05 \times 10^{-2} \frac{m}{s}\right) \times \left(\frac{3.1m \cdot \cos 14°}{30}\right) \times \left(2m \times \cos 14° \times 1\right)$$

$$q = 0.97 \times 10^{-4} \;\; m^3/s/m$$

4.2 Resuelva el problema 4.1 con los siguientes valores: $H = 2.2$ m, $H_1 = 1.5$ m, $h = 2.7$ m, $L = 5$ m, $\alpha = 20°$ y $k = 1.12 \times 10^{-5}$ m /s. La tasa de flujo debe darse en m^3/h/m de ancho (perpendicular a la sección transversal mostrada).

Solución:

Tomamos 1 m de penetración al estrato.

El gradiente hidráulico se expresa como sigue:

$$i = \frac{h}{\frac{L}{\cos\alpha}}$$

De la ecuación (4.13) y (4.14), tenemos:

$$q = \frac{k \cdot h \cdot H_1}{L} \times \cos^2\alpha$$

$$q = 1.12 \times 10^{-5} \frac{m}{s} \times \frac{2.7m \times 1.5m}{5} \times \cos^2 20°$$

$$q = 0.80 \times 10^{-5} \;\; m^3/s/m$$

4.3 Refiérase al arreglo de carga constante mostrado en la figura 4.4. Para una prueba, se dan los siguientes valores:

- L = 460 mm
- A = área de la muestra = 22.6 cm^2
- Diferencia de carga constante = h = 700 mm
- Agua recolectada en 3 min = 354 cm^3

Calcule la permeabilidad en cm/s.

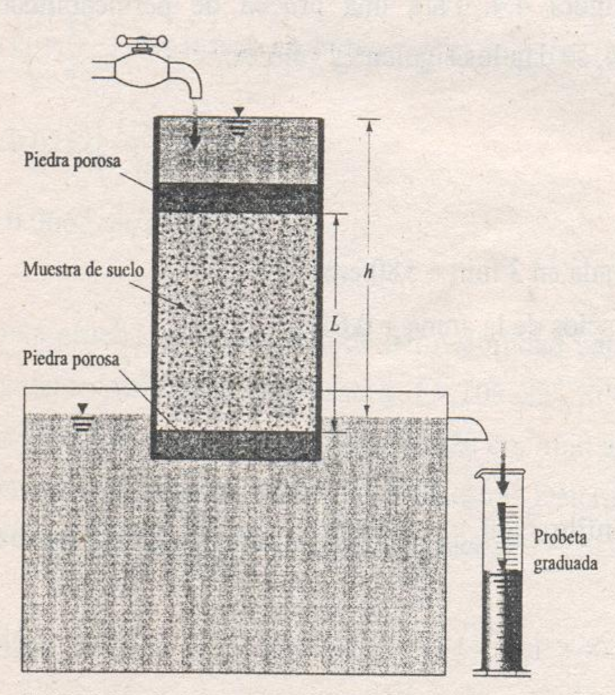


FIGURA 4.4 Prueba de permeabilidad bajo carga constante.

Solución:

Datos:

L = 460 mm

A = 22.6 cm^2

h = 700 mm

Agua recolectada en 3 min = 354 cm^3

De la ecuación (4.15), tenemos:

$$k = \frac{Q.L}{Aht}$$

$$k = \frac{354}{3}\frac{cm^3}{min} \times \frac{46cm}{22.6cm^2} \times \frac{1}{700cm}\frac{1min}{60seg}$$

$$k = 0.057\,cm/s$$

4.4 Refiérase a la figura 4.4. Para una prueba de permeabilidad bajo carga constante en arena, se dan los siguientes valores:

- $L = 350$ mm
- $A = 125$ cm^2
- $H = 420$ mm
- Agua recolectada en 3 min = 580 cm^3
- Relación de vacíos de la arena = 0.61

Determine:

a. Permeabilidad

b. Velocidad de infiltración

Solución:

Datos:

$e = 0.61$

De la ecuación (4.15) tenemos:

$$k = \frac{Q.L}{Aht}$$

$$k = \frac{580cm^3}{3min} \times \frac{35cm}{125cm^2} \times \frac{1}{42cm} \times \frac{1min}{60seg}$$

$$k = 0.021\,cm/s$$

a) De la ecuación 4.6 se obtiene la permeabilidad:

$$v = ki$$

$$v = 0.021\,\frac{cm}{s} \times \frac{42}{35}$$

$$v = 0.0252\,\frac{cm}{s}$$

b) De la ecuación (4.10), se tiene la Velocidad de infiltración:

$$v_s = v\left(\frac{1+e}{e}\right)$$

$$v_s = 0.0252\left(\frac{1+0.61}{0.61}\right)$$

$$v_s = 0.0665\,cm/s.$$

4.5 Para una prueba en laboratorio de permeabilidad bajo carga constante, se dan los siguientes valores: $L = 250$ mm y $A = 105$ cm^2. Si el valor de $k = 0.014$ cm/s y debe mantenerse una tasa de flujo de 120 cm^3/min a través del suelo, ¿cuál es la diferencia de carga h a través de la muestra? Determine también la velocidad de descarga bajo las condiciones de la prueba.

Solución:

Datos:

L = 250 mm

A = 105 cm^2

k = 0.014 cm/s

Flujo = 120 cm^3/min

De la ecuación (4.15) podemos despejar h:

$$h = \frac{QL}{k.A.t}$$

$$h = \frac{120\,cm^3}{min} \times \frac{25cm}{0.014\frac{cm}{seg}} \times \frac{1}{105\,cm^2 \times \frac{60\,seg}{1\,min}}$$

$$h = 34\,cm$$

$$h = 340\,mm$$

De la ecuación (4.6), se tiene la velocidad de descarga:

$$v = ki$$

$$v = \frac{k.h}{L}$$

$$v = 0.014\frac{cm}{s} \times \frac{34}{25}$$

$$v = 0.019\frac{cm}{s}$$

4.6 Para una prueba de permeabilidad con carga variable, se dan los valores:

- Longitud de la muestra de suelo = 381 mm
- Área de la muestra de suelo = 19.4 cm^2
- Área de la bureta = 0.97 cm^2
- La diferencia de carga en el tiempo $t = 0$ es de 635 mm
- La diferencia de carga en el tiempo $t = 8$ min es de 305 mm

a. Determine la permeabilidad del suelo en cm/s.

b. ¿Cuál es la diferencia de carga en el tiempo $t = 4$ min?

Solución:

Datos:

$a = 0.97\,cm^2$

$L = 38.1\,cm$

$A = 19.4\,cm^2$

$h_1 = 63.5\,cm$

$h_2 = 30.5\,cm$

a) De la ecuación (4.18), tenemos la permeabilidad:

$$k = 2.303.\frac{a\,L}{At}\log_{10}.\frac{h_1}{h_2}$$

$$k = 2.303.\left(\frac{0.97 \times 38.1}{19.4. \times 480.1}\right)\log_{10}\left(\frac{63.5}{30.5}\right)$$

$$k = 2.91 \times 10^{-3}\,cm/s$$

b) Para t = 4min = 240 s, se tiene la siguiente diferencia de carga:

$$k = 2.303 \times \left(\frac{0.97 \times 38.1}{19.4 \times 240}\right)\log_{10}\left(\frac{63.5}{h}\right)$$

$$2.91 \times 10^{-3} = 2.303 \times \left(\frac{0.97 \times 38.1}{19.4 \times 240}\right)\log_{10}\left(\frac{63.5}{h}\right)$$

Despejando h tenemos:

$h = 440\,mm.$

4.7 Para una prueba de permeabilidad con carga variable, se dan los valores:

- Longitud de la muestra de suelo = 200 mm
- Área de la muestra de suelo = 1000 mm^2
- Área de bureta = 40 mm^2
- La diferencia de carga en el tiempo $t = 0$ es de 500 mm
- La diferencia de carga en el tiempo $t = 3$ min es de 300 mm

a. Determine la permeabilidad del suelo en cm/s.

b. ¿Cuál es la diferencia de carga en el tiempo t = 100 s?

Solución:

Datos:

$a = 0.40\,cm^2$

$L = 20\,cm$

$A = 10\,cm^2$

$h_1 = 50\,cm$

$h_2 = 30\,cm$

a) De la ecuación (4.18), tenemos la permeabilidad:

$$k = 2.303.\frac{a\,L}{At}\log_{10}.\frac{h_1}{h_2}$$

$$k = 2.303.\left(\frac{0.40\times 20}{10\times 180}\right)\log_{10}\left(\frac{50}{30}\right)$$

$$k = 2.27\times 10^{-3}\,cm/s$$

b) Para t = 100 s, se tiene la siguiente diferencia de carga:

$$k = 2.303\times\left(\frac{0.40\times 20}{10\times 100}\right)\log_{10}\left(\frac{50}{h}\right)$$

$$0.1232 = \log\left(\frac{50}{h}\right)$$

$$1328 = \frac{50}{h}$$

$$h = 37.64\,cm$$

$$h = 376.4\,mm.$$

4.8 La permeabilidad k de un suelo es 0.832×10^{-5} cm/s a una temperatura de 20° C. Determine su permeabilidad absoluta a 20° C, si a 20° C, $\gamma_w = 9.789$ kN/m³ y $\eta = 1.005 \times 10^{-3}$ N · s/m². (Newton-segundo sobre metro cuadrado.)

Solución:

De la ecuación (4.11) tenemos lo siguiente:

$$k = \frac{\gamma_\omega}{\eta}\bar{K} = 0.832 \times 10^{-5}\ cm/s$$

por lo que se tiene :

$$0.832 \times 10^{-5} = \left(\frac{9.789 \times 10^3}{1.005 \times 10^{-3}}\right)\bar{K}$$

$$\bar{K} = 0.8542 \times 10^{-12}\ cm^2$$

4.9 La permeabilidad de una arena con relación de vacíos de 0.62 es de 0.03 cm/s. Estime su permeabilidad bajo una relación de vacíos de 0.48. Use las ecuaciones (4.20) y (4.21).

$$k = 1.4e^2 k_{0.85} \qquad \text{(ecuación 4.20)}$$

$$k \propto \frac{e^3}{1+e} \qquad \text{(ecuación 4.21)}$$

Solución:

Datos:

e = 0.62

Permeabilidad = 003 cm/s

- **De la ecuación (4.20), tenemos:**

$k = 1.4.e^2\ k_{0.85}$

$0.03 = 1.4.0.62^2\ k_{0.62}$

$k_{0.62} = 0.0557$

Como es una estimación consideramos lo siguiente :

$k_{0.48} = 1.4 \times 0.48^2\ k_{0.62}$

$k_{0.48} = 0.018 cm/s$

- **De la ecuación (4.21), tenemos:**

$$k = C_1 \frac{e^3}{1+e^3}$$

$$0.03 = C_1.\frac{0.62^3}{1+0.62}$$

$C_1 = 0.204$

Para una relación de vacios de 0.48 se tiene :

$$k = 0.204 \times \frac{e^3}{1+e}$$

$$k = 0.204 \times \frac{0.48^3}{1+0.48}$$

$k = 0.015 cm/s$

4.10 Una cierta arena tiene porosidad (n) = 0.31 y k = 0.066 cm/s. Determine k cuando n = 0.4. Use las ecuaciones (4.20) y (4.21).

Solución:

Datos:

$n = 0.31$ y $k = 0.066 cm/s$

Se tiene la siguiente relación :

$$e = \frac{n}{1-n}$$

a) **Para** $n = 0.31$

$$e = \frac{0.31}{1-0.31}$$

$$e = 0.45$$

$$k = 1.4 \times e^2 \times k_e$$

$$0.066 = 1.4.(0.45)^2 k_e$$

$$k_e = 0.233$$

$$k = 1.4.\ e^2.k_e \quad \text{...}\textbf{ecuación}(\textbf{4.20})$$

Para $n = 0.4$

$$e = \frac{0.4}{1-0.4} = 0.67, entonces:$$

$$k = 1.4(0.67)^2 \times 0.233$$

$$k = 0.145\, cm/s$$

b) $$0.066 = C_1 \times \frac{0.45^3}{1+0.45}$$

$$C_1 = 1.05$$

$$k = 1.05\frac{e^3}{1+e} \quad \text{...}\textbf{ecuación}(\textbf{4.21})$$

$$k = 1.05 \times \frac{0.67^3}{1+0.67}$$

$$k = 0.189\, cm/s$$

4.11 El peso específico seco máximo determinado en laboratorio para una arena de cuarzo es de 16.0 kN/m^3. Si la compactación relativa, en campo, es de 90%, determine la permeabilidad de la arena en la condición de compactación en campo (si k para la arena bajo la condición de peso específico seco máximo es de 0.03 cm/s y $G_s = 2.7$). Use la ecuación (4.21).

Solución:

$\gamma_{seco\ \max\ lab} = 16\ kN/m^3$

$R = 90\%$

$$R(\%) = \frac{\gamma d_{campo}}{\gamma d_{\max-lab}} \times 100$$

$$90\% = \frac{\gamma d_{campo}}{16}$$

$\gamma d_{campo} = 14.4\ kN/m^3$

Se tiene la siguiente relación:

$$\gamma_d = \frac{G_s \times \gamma_w}{1+e}$$

$$16.0 = 2.7 \times \frac{9.81}{1+e}$$

$e = 0.655$

$$k = C_1 \frac{e^3}{1+e^3} \text{ ....}\textbf{ecuación (4.21)}$$

$$0.03 = C_1 \times \frac{0.655^3}{1+0.655}$$

$C_1 = 0.176$

Finalmente tenemos:

$$\gamma_d = \frac{G_s \times \gamma_w}{1+e}, \text{ para } \gamma_{\text{seco máx}} \text{ se tiene:}$$

$$14.4 = \frac{2.7 \times 9.81}{1+e}$$

$e = 0.839$

$$k = 0.176 \times \frac{0.839^3}{1+0.839}$$

$k = 5.67 \times 10^{-2}\ cm/s$

4.12 Para un suelo arenoso tenemos $e_{máx} = 0.66$, $e_{min} = 0.36$ y k bajo una compacidad relativa de 90% = 0.008 cm/s. Determine k bajo una compacidad relativa de 50%. Use las ecuaciones (4.20) y (4.21).

Solución:

Datos:

$e_{max} = 0.66$

$e_{min} = 0.36$

$k = 0008 cm/s$

$C_r = 0.90$

$$C_r = \frac{\gamma d_{campo} - \gamma d_{min}}{\gamma d_{max} - \gamma d_{min}} \times \frac{\gamma d_{max}}{\gamma d_{campo}}$$

Para C_r = 90%, se tiene la siguiente relación de vacios:

$$C_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

$$0.90 = \frac{0.66 - e}{0.66 - 0.36}$$

$e = 0.39$

Para C_r = 50%, se tiene la siguiente relación de vacios:

$$0.50 = \frac{0.66 - e}{0.66 - 0.36}$$

$e = 0.51$

De la ecuación (4.20) se tiene lo siguiente:

$k = 1.4e^2 k_{0.85}$

Para e = 0.39, se tiene :

$$0.008 = 1.4.(0.39)^2 \times k_e$$

$$k_e = 0.0376$$

Para e = 0.51, donde C_r = 50 %

$$k = 1.4.e^2 \times k_e$$

$$k = 1.4(0.51)^2 \times 0.0376$$

$$k = 1.37 \times 10^{-2}\ cm/s$$

De la ecuación (4.21) tenemos lo siguiente:

$$k = C_1 \frac{e^3}{1+e^3}$$

Para e = 0.39 y C_r = 90 %

$$0.008 = C_1 \times \frac{0.39^3}{1+0.39}$$

$$C_1 = 0.1875$$

Para e = 0.51 y C_r=50 %

$$k = 0.1875 \times \frac{0.51^3}{1+0.51}$$

$$k = 1.65 \times 10^{-2}\ cm/s$$

4.13 Una arcilla normalmente consolidadas tiene los valores dados en la tabla:

Relación de vacíos, *e*	*k* **(cm/s)**
0.8	1.2×10^{-6}
1.4	3.6×10^{-6}

Estime la permeabilidad de la arcilla bajo una relación de vacíos (e) de 0.62. Use la ecuación (4.24)

$$k = C_3\left(\frac{e^n}{1+e}\right) \qquad \text{(ecuación 4.24)}$$

Solución:

Datos:

e	$k(cm/s)$
0.8	1.2×10^{-6}
1.4	3.6×10^{-6}
0.62	k

De la ecuación (4.24), tenemos:

$$k = C_3\left(\frac{e^n}{1+e}\right)$$

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{\left(\frac{e^{n_1}}{1+e_1}\right)}{\left(\frac{e^{n_2}}{1+e_2}\right)}$$

Nota : k_1 y k_2 son permeabilidades bajo relaciones de vacíos e_1 y e_2 respectivamente, reemplazando valores se tiene:

$$\frac{1.2\times10^{-6}}{3.6\times10^{-6}} = \frac{\frac{(0.8)^n}{1+0.8}}{\frac{(1.4)^n}{1+1.4}}$$

$$0.3333 = \frac{2.4}{1.8}\left(\frac{0.8}{1.4}\right)^n$$

$$(0.571)^n = 0.25$$

$$n = \frac{\log(0.25)}{\log(0.5+1)}$$

$$n = 2.47$$

Por consiguiente se tiene:

$$k = C_3\left(\frac{e^{5.1}}{1+e}\right)$$

$$1.2\times10^{-6} = C_3\left(\frac{(0.8)^{2.47}}{1+0.8}\right)$$

$$C_3 = 3.75\times10^{-6}$$

Finalmente tenemos lo siguiente:

$$k = \left(3.75\times10^{-6}\ cm/s\right)\left(\frac{e^n}{1+e}\right)$$

Para una relación de vacíos de e = 0.62, tenemos :

$$k = C_3 \times \left(\frac{(0.62)^{2.47}}{1+0.62}\right)$$

$$k = 0.71\times10^{-6}\ cm/s.$$

4.14 Una arcilla normalmente consolidada tiene los valores siguientes:

Relación de vacíos, *e*	*k* (cm/s)
1.2	0.2×10^{-6}
1.9	0.91×10^{-6}

Estime la magnitud de k de la arcilla bajo una relación de vacíos (e) de 0.9. Use la ecuación (4.24).

Solución:

Datos:

e	$k(cm/s)$
1.2	0.2×10^{-6}
1.9	0.91×10^{-6}.

$$k = C_3\left(\frac{e^n}{1+e}\right)$$

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{\dfrac{e^{n_1}}{1+e_1}}{\dfrac{e^{n_2}}{1+e_2}}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\frac{0.2\times10^{-6}}{0.91\times10^{-6}} = \frac{\dfrac{(1.2)^n}{1+1.2}}{\dfrac{(1.9)^n}{1+1.9}}$$

$$0.2198 = \frac{2.9}{22}\times\left(\frac{1.2}{1.9}\right)^n$$

$$(0.632)^n = 0.167$$

$$n = \frac{\log(0.167)}{\log(0.632)}$$

$$n = 3.9$$

$$0.2\times10^{-6}=C_3\left(\frac{(1.2)^{3.9}}{1+1.2}\right)$$

$$C_3=0.216\times10^{6}$$

Para $e=0.9$

$$k=\left(0.216\times10^{-6}\,cm/s\right)\left(\frac{e^{n}}{1+e}\right)$$

$$k=0.216\times10^{-6}\times\left(\frac{(0.9)3.9}{1+0.9}\right)$$

$$k=0.75\times10^{-7}\,cm/s$$

4.15 Refiérase a la figura 4.21 y use los siguientes valores:

- $H_1=7$ m, $D=3.5$ m
- $H_2=1.75$ m, $D_1=7$ m

Dibuje una red de flujo. Calcule la perdida por infiltración por metro de longitud del tabla estacado (perpendicular a la sección transversal mostrada).

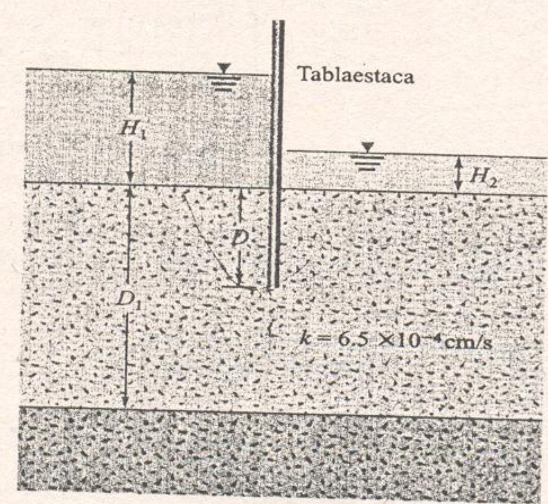
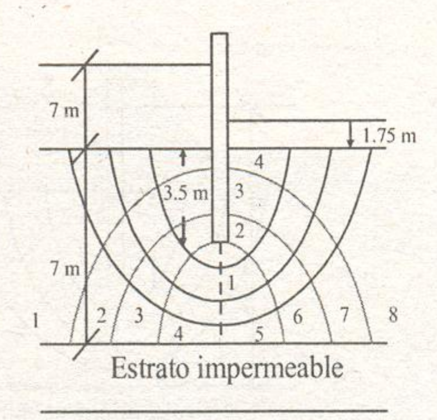


FIGURA 4.21

Solución:



De la ecuación (4.38) tenemos lo siguiente:

$k = 6.5 \times 10^{-4}\ cm/s$

$q = k.H.\dfrac{N_f}{N_d}$

$H = 7 - 1.75 = 5.25m$

de la gráfica se puede determinar:

$N_d = 8$

$N_f = 4$

Reemplazando valores tenemos lo siguiente:

$q = 6.5 \times 10^{-6}\dfrac{m}{s} \times 5.25m \times \dfrac{4}{8}$

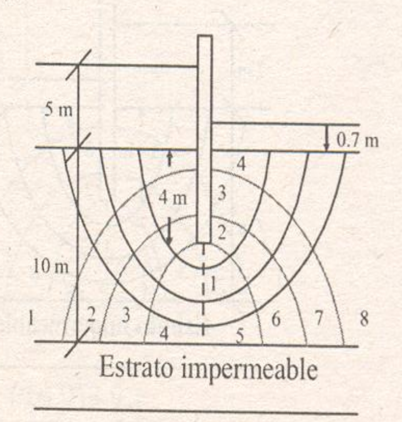
$q = 17.06 \times 10^{-6}\ m^3/m/s$

4.16 Dibuje una red de flujo para una tablaestaca hincada en un estrato impermeable como muestra la figura 4.21, con los siguientes datos:

- $H_1 = 5$ m, $D = 4$ m
- $H_2 = 0.7$ m, $D_1 = 10$ m

Calcule la pérdida por infiltración por metro de longitud de la tablaestaca (perpendicular a la sección transversal mostrada).

Solución:



De la ecuación (4.38) tenemos lo siguiente:

$k = 6.5 \times 10^{-4}\, cm/s$

$q = k.H.\dfrac{N_f}{N_d}$

$H = 5 - 0.7 = 4.3\,m$

de la gráfica se puede determinar:

$N_d = 8$

$N_f = 4$

Reemplazando valores tenemos lo siguiente:

$q = 6.5 \times 10^{-6} \dfrac{m}{s} \times 4.3m \times \dfrac{4}{8}$

$q = 13.98 \times 10^{-6}\, m^3/m/s$

4.17 Dibuje una red de flujo para el vertedor mostrado en la figura 4.22. Calcule la tasa de infiltración bajo el vertedor.

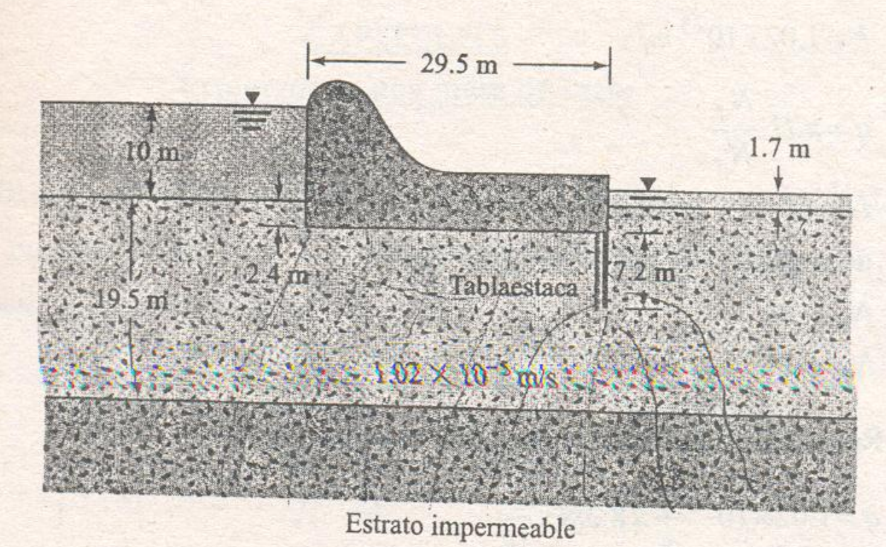
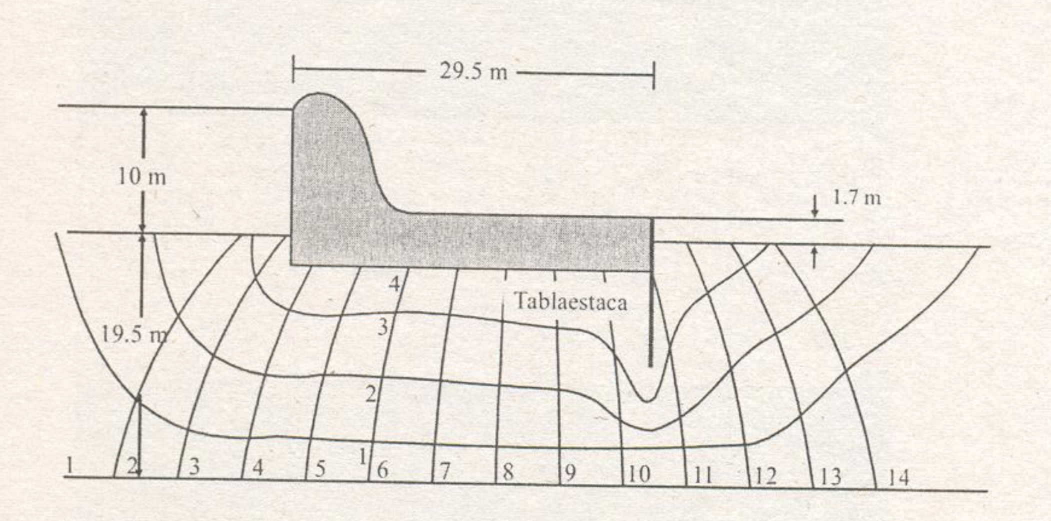


FIGURA 4.22

Solución:



De la ecuación (4.38) tenemos lo siguiente:

$k = 1.02 \times 10^{-5}\ m/s$

$q = k.H.\dfrac{N_f}{N_d}$

$H = 10 - 1.7 = 8.3m$

de la gráfica se puede determinar:

$N_d = 14$

$N_f = 4$

Reemplazando valores tenemos lo siguiente:

$q = 1.02 \times 10^{-5}\ \dfrac{m}{s} \times 8.3m \times \dfrac{4}{14}$

$q = 2.42 \times 10^{-5}\ m^3/m/s$

CAPÍTULO 5

Esfuerzos en una masa de suelo

5.1 Un perfil de suelo se muestra en la figura 5.27. Calcule los valores de σ, *u*, y σ′ en los puntos A, B, C y D. Grafique la variación de σ, *u*, y σ′ con la profundidad. Se dan los valores en la tabla.

Estrato No.	Espesor (m)	Peso específico (kN/m^3)
I	$H_1 = 4$	$\gamma_d = 17.3$
II	$H_2 = 5$	$\gamma_{sat} = 18.9$
III	$H_3 = 6$	$\gamma_{sat} = 19.7$

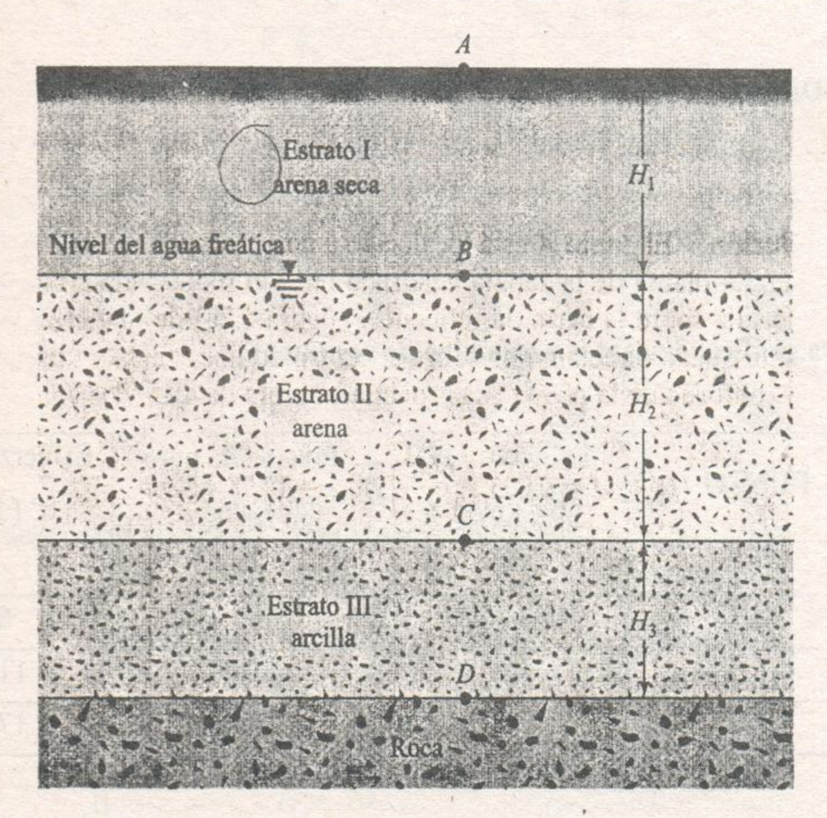


FIGURA 5.27

Solución:

En A: Esfuerzo total. $\sigma_A = 0$

Presión de poro del agua $\mu_A = 0$

Esfuerzo efectivo $\sigma'_A = \sigma_A - \mu_A = 0$

En B: $\sigma_B = H_1 \times \gamma_{seco\ (arena)} = 4 \times 17.3 = 69.2\ kN/m^2$

$\mu_B = 0$

$\sigma'_B = 69.2 - 0 = 69.2\ kN/m^2$

En C: $\sigma_C = 4 \times 17.3 + 5 \times 18.9 = 69.2 + 94.5 = 163.7\ kN/m^2$

$\mu_C = 5.\ \gamma_w = 5 \times 9.81 = 49.05\ kN/m^2$

$\sigma'_C = 160.7 - 49.05 = 114.65\ kN/m^2$

En D: $\sigma_D = 4 \times 17.3 + 5.18.9 + 6 \times 19.7 = 69.2 + 94.5 + 118.2$

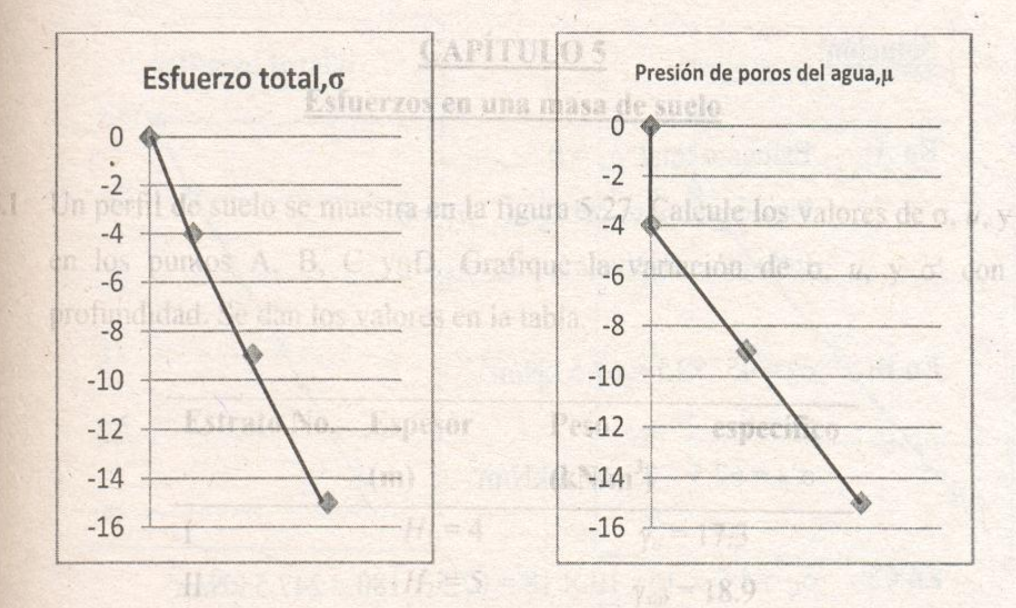
$\sigma_D = 281.9\ kN/m^2$

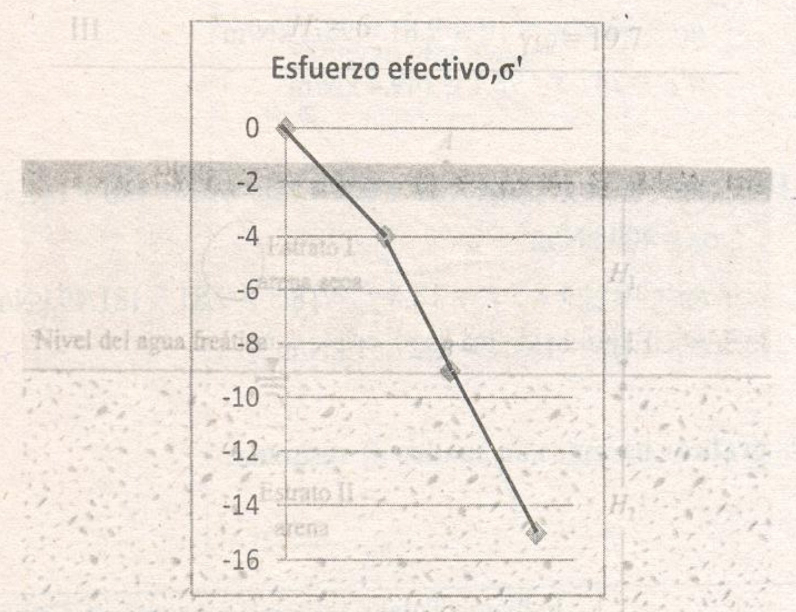
$\mu'_D = 5.\ \gamma_\omega + 6\ \gamma_\omega = 11\gamma_\omega = 11 \times 9.81 = 107.\ 91\ kN/m^2$

$\sigma'_D = 173.99\ kN/m^2$

Para graficar hacemos un cuadro de resumen:

PUNTO	Esfuerzo Total σ (kN/m^2)	Presión de poro del agua (μ)	Esfuerzo efectivo σ' (kN/m^2)
A	0	0	0
B	69.2	0	69.2
C	163.7	49.05	114.65
D	281.9	107.91	173.99





5.2 Resuelva el problema 5.1 con los siguientes datos:

Estrato No.	Espesor (m)	Peso específico (kN/m³)
I	$H_1 = 4.5$	$\gamma_d = 15.0$
II	$H_2 = 10$	$\gamma_{sat} = 18.0$
III	$H_3 = 8.5$	$\gamma_{sat} = 19.0$

Solución:

En A: Esfuerzo total. $\sigma_A = 0$

Presión de poro del agua $\mu_A = 0$

Esfuerzo efectivo $\sigma'_A = \sigma_A - \mu_A = 0$

En B: $\sigma_B = 45 \times 15 = 67.5$ kN/m^2

$\mu_B = 0$

$\sigma'_B = 67.5 - 0 = 67.5$ kN/m^2

En C: $\sigma_C = 4.5 \times 15 + 10 \times 18 = 67.5 + 180 = 247.5$ kN/m^2

$\mu_C = 10 \times \gamma_\omega = 10 \times 9.81 = 98.1$ kN/m^2

$\sigma'_C = 247.5 - 98.1 = 149.4$ kN/m^2

En D: $\sigma_D = 45 \times 15 + 10 \times 18 + 8.5 \times 19 = 67.5 + 180 + 161.5$

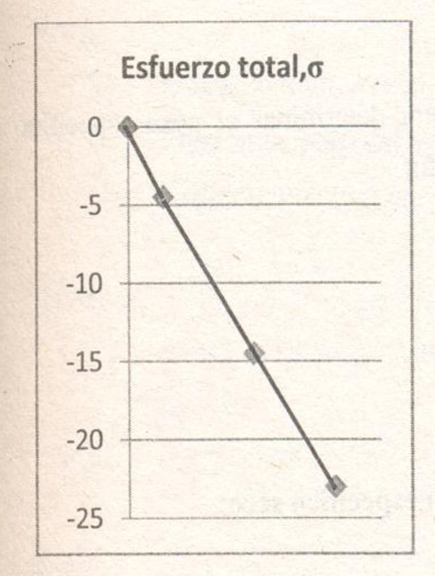
$\sigma_D = 409$ kN/m^2

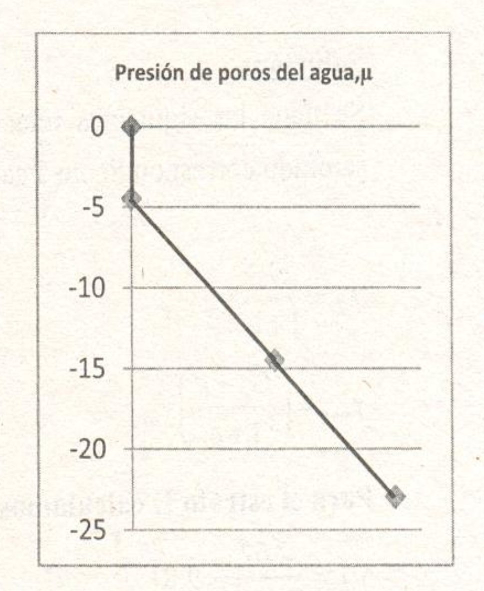
$\mu_D = 10\,\gamma_\omega + 8.5\,\gamma_\omega = 18.5\,\gamma_\omega = 18.5 \times 9.81 = 181.49$ kN/m^2

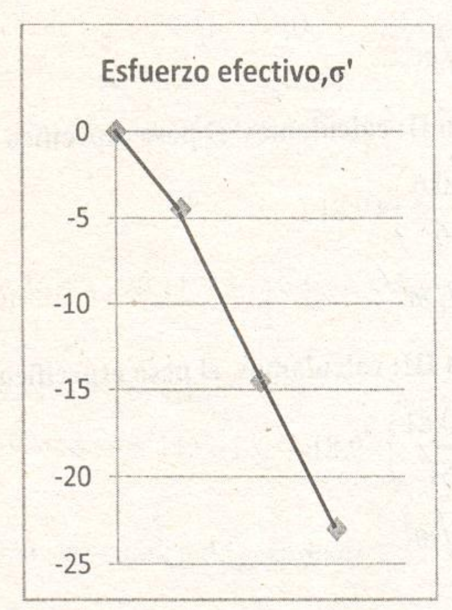
$\sigma'_D = 409 - 181.49 = 227.51$ kN/m^2.

Para graficar hacemos un cuadro de resumen:

PUNTO	Esfuerzo Total σ (kN/m^2)	Presión de poro del agua (μ)	Esfuerzo efectivo σ' (kN/m^2)
A	0	0	0
B	67.5	0	67.5
C	247.5	98.1	149.4
D	409	181.49	227.51







5.3 Resuelva el problema 5.1 con los siguiente datos:

Estrato No.	Espesor (m)	Parámetros del suelo
I	$H_1 = 3$	$e = 0.40,\ G_s = 2.62$
II	$H_2 = 4$	$e = 0.60,\ G_s = 2.68$
III	$H_3 = 2$	$e = 0.81,\ G_s = 2.73$

Solución:

Se tiene las siguientes relaciones para determinar el peso específico seco y saturado correspondiente a cada estrato:

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e}.\gamma_\omega$$

$$\gamma_{sat} = \left(\frac{G_s + e}{1+e}\right)\gamma_\omega$$

Para el estrato I: calculamos el peso específico seco:

$$\gamma_d = \frac{2.62}{1+0.4}\times 9.81$$

$$\gamma_d = 18.36\, kN/m^3$$

Para el estrato II: calculamos el peso específico saturado:

$$\gamma_{sat} = \left(\frac{2.68+0.6}{1+0.6}\right)\times 9.81$$

$$\gamma_{sat} = 20.11\, kN/m^3$$

Para el estrato III: calculamos el peso específico saturado:

$$\gamma_{sat} = \left(\frac{2.73+0.81}{1+0.81}\right)\times 9.81$$

$$\gamma_{sat} = 19.19\, kN/m^3$$

Estrato No.	Parámetros de suelo		γ_d	γ_{sat}
I	$e = 0.4$	$G_s = 262$	18.36	
II	$e = 0.6$	$G_s = 208$		20.11
III	$e = 0.81$	$G_s = 2.73$		19.19

En A:

Esfuerzo total. $\sigma_A = 0$

Presión de poro del agua $\mu_A = 0$

Esfuerzo efectivo $\sigma'_A = \sigma_A - \mu_A = 0$

En B:

$\sigma_B = 3 \times 18.36 = 55.08\ kN/m^2$

$\mu_B = 0$

$\sigma'_B = 55.08\ kN/m^2$

En C:

$\sigma_C = 3 \times 18.36 + 4 \times 20.11 = 55.08 + 80.44 = 135.52$

$\mu_C = 4 \times 9.81 = 39.24$

$\sigma'_C = 135.52 - 39.24 = 96.28\ kN/m^2$

En D:

$\sigma_D = 3\times18.36 + 4\times20.11 + 2\times19.19 = 55.08 + 80.44 + 38.38$

$\sigma_D = 173.9\ kN/m^2$

$\mu_D = 6 \times 9.81 = 58.86\ kN/m^2$

$\sigma'_D = 173.9 - 58.86 = 115.04\ kN/m^2$

Para graficar hacemos un cuadro de resumen:

PUNTO	Esfuerzo Total σ (kN/m^2)	Presión de poro del agua (μ)	Esfuerzo efectivo σ' (kN/m^2)
A	0	0	0
B	55.08	0	55.08
C	135.52	39.24	96.28
D	173.9	58.86	115.04